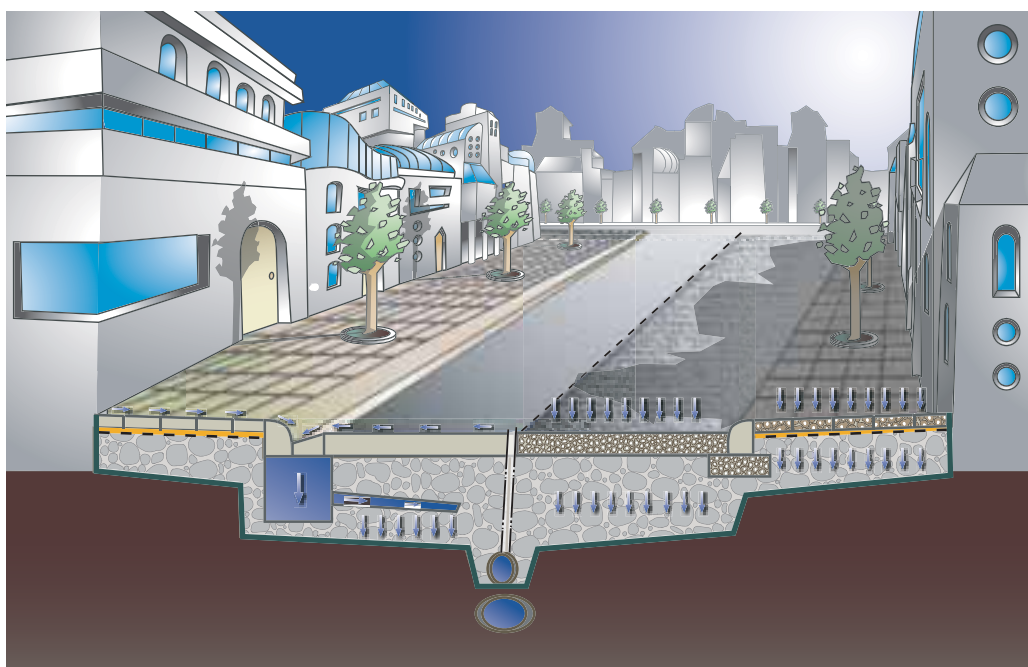


VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS URBAINS EN BÉTON

Revêtements et structures réservoirs



VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS URBAINS EN BÉTON

Revêtements
et structures réservoirs

Les contributions à l'ouvrage

<i>Joseph</i> ABDO	CIMBETON
<i>Jean-Daniel</i> BALADES	LR BORDEAUX
<i>Ludovic</i> BAROIN	SPECBEA
<i>Pierre</i> BERGA	LR BORDEAUX
<i>Gérard</i> BONNET	consultant
<i>Bertrand</i> BRUSL�	SETRA
<i>Jean-Pierre</i> CHRISTORY	LROP
<i>Roland</i> DALLEMAGNE	CIMENTS VICAT
<i>Delphine</i> DELARSON	CERIB
<i>Claude</i> DERACHE	CIMENTS CALCIA
<i>Francis</i> DUTRUEL	CERIB
<i>Jean-François</i> GUILLAUME	SNBPE
<i>Patrick</i> GUIRAUD	LAFARGE CIMENTS
<i>Louis-Marie</i> JOSSO	Ordre des G�om�tres-Experts
<i>Jean-René</i> OURY	AIVF-CU Strasbourg
<i>Jean-Marc</i> POTIER	CIMENTS VICAT
<i>Claude</i> ROUSSEL	AIVF-CU Lille
<i>Jean-Pascal</i> SOUFFLET	CIMENTS D'ORIGNY

Avant-propos

● Une différence fondamentale sépare la route et la voirie urbaine : cette dernière ne peut se satisfaire des seules exigences de base que sont la durabilité, la sécurité, le confort, la disponibilité, l'économie et la facilité d'entretien. La voirie urbaine, en effet, doit également contribuer à la réduction des nuisances sonores, participer à la gestion des eaux pluviales et s'intégrer harmonieusement à l'environnement bâti.

L'urbanisation croissante – aujourd'hui 80 % de la population française habite en ville ou en périphérie d'une ville – a imperméabilisé les sols et augmenté de ce fait les risques d'inondation par les eaux pluviales, les réseaux d'évacuation n'ayant généralement pas suivi cette croissance.

Pour remédier à ces risques, les chaussées à structures réservoirs constituent une solution intéressante. Elles permettent, sans diminuer l'espace disponible pour l'urbanisation, d'écarter les débits en assurant un stockage temporaire des eaux pluviales ; de plus, elles assurent une décantation des matières en suspension et des métaux lourds, ce qui localise et concentre la pollution, évitant ainsi un engorgement des stations d'épuration par un apport massif et brutal de polluants.

Les risques d'inondation par ruissellement pluvial dépendent des spécificités climatiques régionales. Les régions méditerranéennes, par exemple, subissent des orages d'été violents, les régions de l'Ouest des pluies automnales fortes et prolongées. Les villes de ces régions seraient donc propices aux chaussées à structure réservoir. Leur réalisation sera à privilégier pour la voirie urbaine à faible et moyen trafic – espaces piétonniers, parkings, lotissements, voies de desserte –, mais elles peuvent cependant être dimensionnées et conçues pour des trafics plus importants.

Ces structures réservoirs constituées de matériaux poreux peuvent être alimentées soit directement par la surface, constituée alors d'un revêtement drainant, soit à partir d'avaloirs, de caniveaux, de chéneaux... Les matériaux à base de ciment – bétons denses, bétons drainants ou pavés pour les revêtements et les bétons poreux pour les couches de structure – sont bien adaptés à la réalisation des structures réservoirs, ce que nous essayons de montrer dans ce document. Tout d'abord, nous soulignons l'intérêt d'utiliser le concept de l'analyse de la valeur qui permet d'aboutir à un compromis entre toutes les exigences souvent divergentes et conflictuelles de la voirie urbaine. Ensuite, nous décrivons le cycle de l'eau dans les infrastructures, les atouts des revêtements et structures réservoirs ainsi que les différents concepts. Enfin, nous présentons les matériaux et constituants utilisables, les méthodes de dimensionnement et des exemples de structures, ainsi que les modes de réalisation. En conclusion, nous proposons ce que pourraient être les chaussées urbaines de demain.

Sommaire

● 1 - Les spécificités des voiries urbaines	9
1 - Présentation	10
2 - Spécificité du milieu urbain	10
3 - Émergence des outils de l'analyse de la valeur	11
4 - Les nouvelles exigences des acteurs de la ville pour leurs infrastructures de voirie	14
5 - Des réflexes nouveaux pour les concepteurs et les gestionnaires de voirie et d'espaces publics	16
6 - Une palette de solutions très étoffée	18

● 2 - Le cycle de l'eau dans les infrastructures urbaines	19
1 - Représentation schématique du cycle de l'eau en milieu urbain	20
2 - Les effets de l'urbanisation sur le cycle naturel de l'eau	21
3 - Les effets de la voirie urbaine	21
4 - Les actions correctives possibles	23
5 - Les chaussées à structures réservoirs et le risque d'inondation	25
6 - Les chaussées à structures réservoirs face à la pollution	27
7 - Zones privilégiées pour les chaussées à structures réservoirs	33
8 - Les infrastructures urbaines et la loi sur l'eau	33

● 3 - Les concepts et atouts des revêtements et structures réservoirs	37
1 - Les concepts	38
2 - Les atouts des chaussées à structures réservoirs en béton	41

● 4 - Les constituants 45

1 - Le béton de ciment dense	46
2 - Le béton de ciment drainant et le béton de ciment poreux	47
3 - Grave non traitée poreuse	52
4 - Les produits de voirie en béton	53
5 - Les composants en béton pour réseaux d'assainissement	59
6 - Autres matériaux pour structures poreuses	64
7 - Matériaux pour construction	66
8 - Procédure pour les commandes de BPE	71

● 5 - Les dimensionnements 75

1 - Dimensionnement hydraulique	76
2 - Dimensionnement mécanique	84
3 - Dimensionnement géométrique	94
4 - Approche d'un projet de chaussée à structure réservoir	104

● 6 - La mise en œuvre III

1 - Introduction	112
2 - Réalisation : les différentes phases	113
3 - Réalisation d'une couche d'assises en GNTP	117
4 - Réalisation d'un revêtement en béton dense	120
5 - Réalisation d'une couche d'assises en béton poreux	131
6 - Réalisation d'un revêtement en béton drainant	134
7 - Réalisation d'un revêtement modulaire en béton	137

● 7 - La qualité, les contrôles et la maintenance	149
1 - Qualité de la conception	150
2 - Contrôles des travaux	150
3 - Maintenance	153

● 8 - Le développement prospectif : les chaussées de demain	157
1 - Typologie des structures poreuses	159
2 - Concurrence entre les techniques	165

● 9 - Annexes	167
1 - Glossaire	168
2 - Bibliographie	169
3 - Adresses utiles	172

Les spécificités des voiries urbaines

- 1 - Présentation**
- 2 - Spécificités du milieu urbain**
- 3 - Émergence des outils de l'analyse de la valeur**
- 4 - Les nouvelles exigences des acteurs de la ville pour leurs infrastructures de voirie**
- 5 - Des réflexes nouveaux pour les concepteurs et les gestionnaires de voirie et d'espaces publics**
- 6 - Une palette de solutions très étoffée**

1 - Présentation

Le génie urbain est par essence pluridisciplinaire, qui associe en permanence des aspects juridiques (compétence et légitimité des domaines), des aspects financiers (arbitrages budgétaires) et des aspects techniques, à un degré égal d'importance. Dans ce dernier domaine, et pour ne prendre que le cas de la voirie ou plus généralement des espaces publics, les techniques de conception et de maintenance des rues, places et aires diverses doivent prendre en compte l'espace (urbanisme et occupation des sols), les réseaux (surface, sous-sol et sur-sol) et les matériaux en vigueur dans la construction et le génie civil, avec des contraintes d'accès et d'exécution bien spécifiques. Les revêtements et structures réservoirs, qui font partie des aménagements qualitatifs de la voirie urbaine, sont donc soumis à ces spécificités.

2 - Spécificités du milieu urbain

La rue doit être conçue pour tous les usagers de la ville : automobiles, véhicules de livraison et de service, deux-roues, piétons, riverains, concessionnaires des réseaux, occupants du domaine public, etc. Elle doit donc assurer la meilleure cohabitation possible, en harmonie et en toute sécurité, pour l'ensemble des usagers précités. Quelle que soit la fonction d'une voirie, il est désormais impossible de laisser de côté les acteurs non prépondérants, et en tout état de cause on ne peut plus réaliser des rues et des routes qui ne mettent pas suffisamment en garde quant à la présence des usagers autres que les véhicules.



*La voirie urbaine :
un lieu pour de multiples usagers.*

3 - Émergence des outils d'analyse de la valeur

En regard du nombre d'usagers de la voirie et de leurs attentes relatives à l'espace public, la conception et l'exploitation des infrastructures urbaines relèvent nécessairement d'un schéma de compromis entre des groupes aux intérêts divergents, voire conflictuels. La rue, pour rendre service à qui ? Telle est la question qu'il faut approfondir pour chaque projet, y compris pour les aménagements les plus modestes.

L'analyse de la valeur est un outil conceptuel qui a fait ses preuves dans d'autres domaines, et dans le milieu industriel en particulier. La complexité de l'aménagement urbain ne permet pas encore, à ce jour, d'appliquer intégralement la démarche de l'analyse de la valeur, mais il est d'ores et déjà pertinent de généraliser la première étape de l'analyse de la valeur qui est l'analyse fonctionnelle. Un document méthodologique intitulé « Aide à la conception de la voirie urbaine par l'analyse fonctionnelle » (coproduction CERTU-AIVF) facilite la mise en œuvre de cette démarche (voir l'encart n° 1). Celle-ci se fonde concrètement sur l'emploi de fiches utilisateurs qui permettent :

- d'effectuer le recensement des utilisateurs et de leurs aspirations ;
- de ne pas oublier et de hiérarchiser l'essentiel parmi l'ensemble des points à examiner pour chaque famille d'utilisateurs : les attentes, les fonctions et les critères de réponse aux besoins.

Parmi les fiches disponibles les plus fréquemment utilisées, citons les piétons, les véhicules particuliers motorisés, les deux-roues légers, les transports collectifs, les véhicules de service urbains, les réseaux, les riverains. Ce sont des composantes essentielles des plans des déplacements urbains (PDU).

Remarquons que lorsque l'on applique tout ou partie de cette logique de travail, on débouche assez souvent sur un concept de voirie multifonction qui met deux éléments en exergue : d'une part la diminution des gênes, nuisances et risques pour les habitants ; et d'autre part une exigence de sécurité accrue pour les déplacements.

ENCART I

L'ANALYSE FONCTIONNELLE : PREMIÈRE ÉTAPE CONCRÈTE ET AUTONOME DANS LA LOGIQUE DE L'ANALYSE DE LA

Nous savons que les fonctionnalités, la qualité et le coût d'un ouvrage, d'un objet ou d'un service, sont très largement figés dès le stade de la conception. On connaît aussi toutes les difficultés pour intervenir à nouveau sur un ouvrage d'art, un pont par exemple, pour en modifier les fonctions de service au cours de sa vie. Ce constat soulève un problème souvent minoré par les maîtres d'ouvrage dans la phase de définition d'un ouvrage public : la formalisation du besoin. Paradoxalement, alors que les références aux documents normatifs sont obligatoires dans les marchés publics, la formalisation du besoin fait l'objet d'une norme à peu près inconnue et inutilisée (1). Nous abordons là un vaste champ méthodologique souvent lié à l'approche systémique, où l'on trouve des outils comme l'ingénierie concourante, la conception pour un coût global, la conception pour un coût d'objectif, l'analyse fonctionnelle et l'analyse de la valeur (2). Que signifie la valeur au sens de l'analyse de la valeur ?

Il est évident que la valeur attribuée à un revêtement de voirie ou plus globalement à un espace public ne peut être limitée à la quantification de son adhérence superficielle, par exemple. Plus largement, c'est l'utilisateur-usager qui appréciera la valeur en termes de confort, d'homogénéité, de propreté, d'intégration, de sentiment de sécurité, d'adéquation du rendu par rapport au cadre dans la situation du moment. Son appréciation de la valeur du

service rendu par le revêtement sur lequel il se déplace, de différentes manières et dans des situations variées, sera le résultat d'une synthèse complexe effectuée dans l'instant par son cerveau entre l'ensemble des perceptions collectées par ses organes sensoriels et ses attentes conscientes ou latentes. Il s'agit d'un processus très difficile à modéliser, compte tenu du grand nombre de variables objectives caractérisant le milieu environnant et de l'ampleur du champ des possibilités offert par les caractéristiques psychophysiologiques de chaque utilisateur. En résumé, est-il possible de prévoir les besoins que les futurs usagers-utilisateurs manifesteront en regard d'un ouvrage alors que celui-ci n'en est qu'au stade de la définition ?

C'est l'analyse fonctionnelle, première étape indispensable d'une démarche d'ingénierie, par l'analyse de la valeur, qui apporte la réponse. Cette méthode cherche à identifier de manière systématique les composantes du besoin des utilisateurs de l'ouvrage. Elle les traduit en termes de fonctions, qui sont les objectifs de service auquel l'ouvrage devra se conformer. Chaque fonction fera l'objet d'une caractérisation au moyen d'un ou plusieurs critères d'appréciation. Chaque critère sera associé à une échelle de quantification, laquelle comportera une plage d'acceptabilité représentative des exigences de l'ensemble des utilisateurs concernés en regard de la fonction considérée.

Pour reprendre l'exemple cité plus haut du revêtement d'un espace public, on saisit facilement l'enchaînement besoin-fonction-critère d'appréciation-plage d'acceptabilité quand on s'en tient au registre physiologique (pouvoir se déplacer par tous les temps et en toutes circonstances, offrir une aire de déplacement sans discontinuité dangereuse, mettre durablement à la disposition des usagers une surface sans pathologie significative ni zone d'accumulation d'eau par temps de pluie, avec des seuils de rugosité minimaux à

respecter). Plus subtile à quantifier est la qualité de l'intégration en termes de valorisation et de fonctionnement harmonieux au sein de l'espace public dans lequel le revêtement s'insère, ou encore en termes d'environnement, mais cette évaluation est toujours possible en s'associant les compétences nécessaires. À cet égard, le présent guide devrait y contribuer.

Document final de la démarche d'analyse fonctionnelle, le cahier des charges fonctionnel reprend et classe par priorités les besoins identifiés et leur traduction en fonctions, ainsi que les critères de satisfaction. Il permet d'amorcer la phase de conception sur la base d'un « document programme » objectif. La capacité créative des concepteurs se trouve ainsi libérée, sur une base et dans un cadre clairement explicités. Le cahier des charges fonctionnel n'est pas seulement une rampe de lancement pour



Document couverture CERTU - AIVE.

par exemple servir de grille d'évaluation pour des projets concurrents, ou encore de moyen de concertation avec les citoyens. L'analyse fonctionnelle s'annonce ainsi comme un outil du génie méthodologique dont nous sommes loin d'avoir exploré toutes les potentialités, bien qu'il se résume à chercher une réponse à trois questions simples mais systématiques : À qui cela sert ? Pour quel service ? Dans quelle situation ?

1. NF X 50-151 Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle. Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnelles.
2. Vocabulaire peu explicite qu'il faut prendre au sens d'ingénierie de la valeur

4 - Les nouvelles exigences des acteurs de la ville pour leurs infrastructures de voirie

Il s'agit tout d'abord d'assurer à la voirie le respect des exigences de base, synthétisées dans le vocable de niveau de service. Celui-ci comprend directement ou indirectement des qualités de pérennité, de confort, de sûreté et sécurité, d'économie, de disponibilité, de maintenance.



*La voirie urbaine :
équilibre et cohérence
avec l'environnement.*



La voirie urbaine : modernité et intégration au site.

Mais aujourd'hui, les ouvrages de voirie se doivent également d'apporter des améliorations en matière :

- de sécurité et de confort de conduite par tous les temps ;
- d'efficacité contre le bruit ;
- d'efficacité contre les inondations dues aux eaux pluviales ;
- de maîtrise des pollutions véhiculées par les eaux pluviales ;
- de participation au principe de développement durable, en particulier en regard de la capacité de la voirie à préserver les ressources et à recycler ses propres déchets en fin de cycle de vie ;
- de personnalisation, dans un contexte marqué par deux impératifs : une lecture aisée du fonctionnement de la ville et une identification de celle-ci dans le but d'améliorer son attractivité et son image de marque.

Enfin, la voirie se doit désormais d'assurer un meilleur respect de l'environnement esthétique.

En conséquence, la voirie urbaine apparaît comme un lieu privilégié pour le partage de l'espace public urbain :

- dans sa dimension horizontale (affectation dans les profils en travers) ;
- dans sa dimension verticale (positionnement et coordination des réseaux) ;
- dans une dimension temporelle (affectation cyclique ou occasionnelle) ;
- dans la lutte contre les risques et les nuisances (bruit, inondations, pollution, etc.) ;
- dans le cycle ressources-déchets (recyclage, sous-produits) ;
- dans la lutte contre la pollution.

Objets de ce guide, les voiries et les aménagements urbains en béton constituent une réponse concrète des professionnels à cette logique multifonctionnelle vers laquelle la voirie urbaine évolue nécessairement. Ce partage peut revêtir un caractère plus ou moins exhaustif selon les souhaits des aménageurs. Là encore, une réponse spécifique à chaque projet s'impose, favorisant en cela la personnalisation de ces aménagements de plus en plus recherchée, à l'image de ce que l'on observe pour le bâti.

5 - Des réflexes nouveaux pour les concepteurs et les gestionnaires de voiries et d'espaces publics

Si le niveau de service aux différents usagers du milieu urbain, dans sa dimension élargie telle qu'elle est proposée ci-dessus, est choisi comme élément de réponse essentiel à la question « La rue ou l'espace public, pour rendre service à qui ? », le processus de réflexion suppose nécessairement une forte interaction entre aménagements, exploitations et maintenance (voir la figure n° 1).

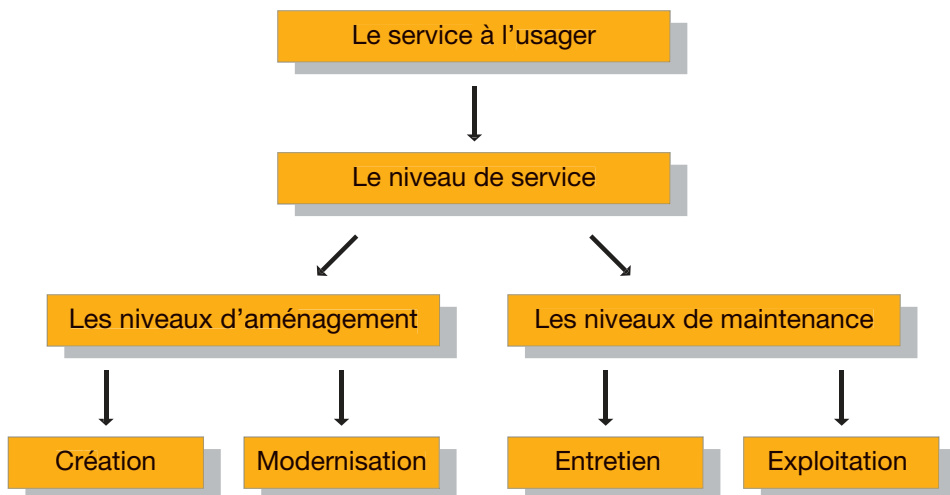


Figure 1 : la voirie urbaine, des exigences multiples pour un développement durable.

De la même manière, l'évaluation et le diagnostic d'un patrimoine ancien de voirie impliquent de se poser la double question du vieillissement et de l'obsolescence. Il ne suffit pas de refaire à l'identique des aires dégradées par les effets du temps, du trafic, des interventions sur la voirie, mais plutôt de se poser la question de l'adéquation de la voirie avec les exigences nouvelles et futures. Au-delà d'un état physique ou pathologique, l'obsolescence traduit un dysfonctionnement par rapport aux nouvelles attentes d'aujourd'hui pour la voirie (voir la figure n° 2).

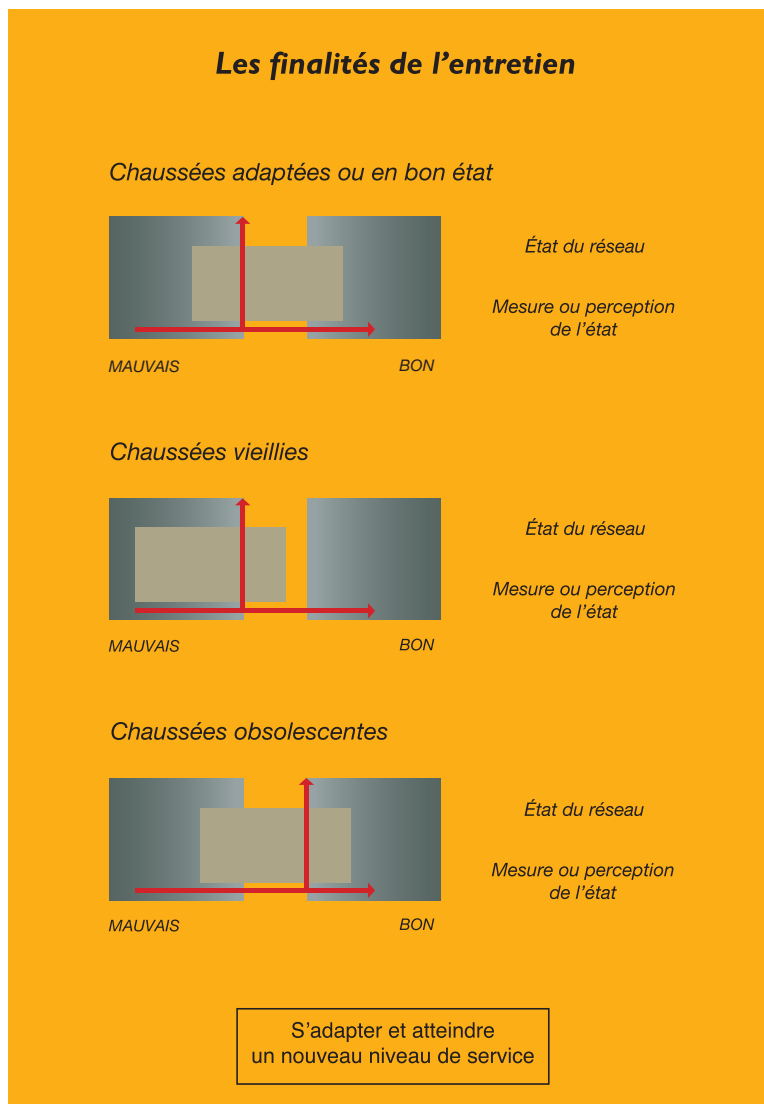


Figure 2 : la voirie urbaine, nécessité d'adapter l'entretien aux nouvelles exigences.

6 - Une palette de solutions très étoffée

Les concepteurs et gestionnaires cherchent à concrétiser l'idée d'une voirie qui évoque clairement ce pour quoi – et ceux à qui – elle est destinée. Cette lisibilité et cette ambiance sont obtenues à partir du revêtement même de la voirie, en jouant sur sa nature, sa couleur, sa structuration de surface, voire sa « profondeur ».



La voirie urbaine : structurer l'espace et améliorer sa lisibilité.

C'est la raison pour laquelle on encourage aujourd'hui :

- le recours conjugué de plusieurs familles de matériaux : pierres naturelles, terres cuites et grès cérames, produits en béton modulaires ou coulés, produits hydrocarbonés, chacun offrant lui-même un large choix de couleurs et de textures ;
- les formes diversifiées, des plus simples aux plus complexes, mieux traitées techniquement par les matériaux modulaires et les matériaux coulés et pervibrés, par opposition aux matériaux compactés ;
- les calepinages, qui renforcent les contrastes et rompent la monotonie des surfaces trop importantes. La plupart des projets d'aménagement font aujourd'hui appel à cette méthode qui permet aussi de reprendre les lignes du bâti ;
- les matériaux au rendu homogène, peu bruyants, esthétiques, faciles à nettoyer, sans flaques d'eau en surface ni éclaboussures ou salissures, etc.

Les revêtements drainants et les structures réservoirs en matériaux poreux, dont la fonction technique première est de gérer le cycle de l'eau des précipitations en milieu urbain, concourent à l'amélioration de la sécurité et du confort tout comme ils profitent au bien-être des usagers.

Le cycle de l'eau dans les infrastructures urbaines

- 1 - Représentation schématique
du cycle de l'eau en milieu urbain**
- 2 - Les effets de l'urbanisation
sur le cycle naturel de l'eau**
- 3 - Les effets de la voirie urbaine**
- 4 - Les actions correctives possibles**
- 5 - Les chaussées à structures réservoirs
et le risque d'inondation**
- 6 - Les chaussées à structures réservoirs
face à la pollution**
- 7 - Zones privilégiées pour les chaussées
à structures réservoirs**
- 8 - Les infrastructures urbaines et
la loi sur l'eau**

1 - Représentation schématique du cycle de l'eau en milieu urbain

Dans leur ouvrage *Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie* (Tec et Doc, Lavoisier, 1992), F. Valiron et J.-P. Tabuchi proposent de représenter le cycle de l'eau en milieu urbain comme illustré à la figure 3 :

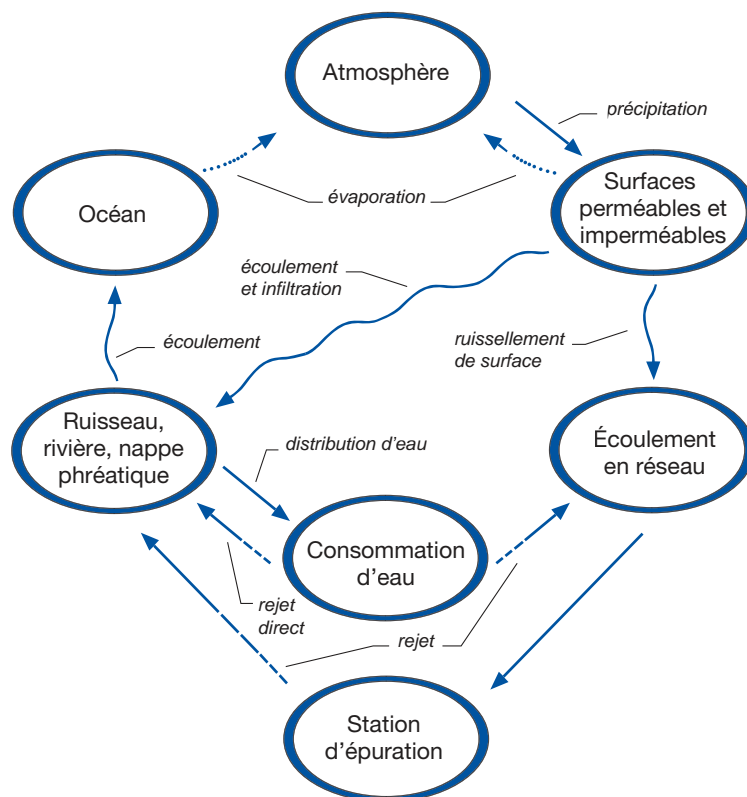


Figure 3 : schéma du cycle de l'eau en milieu urbain.

2 - Les effets de l'urbanisation sur le cycle naturel de l'eau

L'urbanisation imperméabilise les sols naturels.

Conséquences :

- augmentation du ruissellement ;
- réduction de l'infiltration naturelle.

Effets néfastes par temps de pluie :

- inondations plus fréquentes, surcharge épisodique des réseaux ;
- pollution des milieux récepteurs par lessivage.

L'urbanisation rassemble l'activité humaine.

Conséquences :

- augmentation de la consommation d'eau ;
- augmentation des rejets polluants.

Effets néfastes par temps sec :

- déficit en eau ;
- pollution des milieux récepteurs par concentration.

3 - Les effets de la voirie urbaine

La voirie urbaine est un des aspects de l'urbanisation. Elle ajoute d'autres effets néfastes, et ce, d'autant plus que :

- les techniques traditionnelles de chaussées et trottoirs privilégient l'imperméabilisation des sols par le recours à des revêtements de chaussée étanches ;
- la morphologie classique des chaussées avec les profils en toit, les bordures, les caniveaux, les avaloirs et leur raccordement direct à des réseaux de canali-

sations favorisent le transfert instantané des débits. La création de nouvelles voiries imperméables a pour effet hydraulique de réduire le temps de concentration (ou temps de réponse) des bassins versants, et de désenclaver des zones qui n'étaient pas actives antérieurement ;

• les divers usages de la voirie et de l'environnement urbain sont sources de dépôts fortement pollués sur les revêtements de chaussée (figure. 4).



La conception classique de la voirie favorise le ruissellement et le transfert instantané des débits d'eaux vers les réseaux.

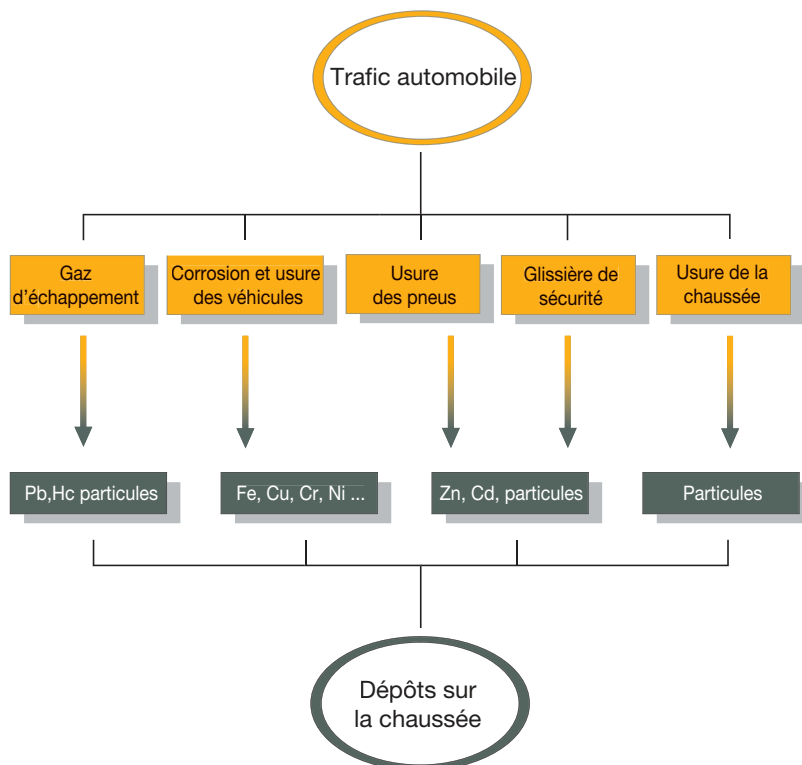


Figure 4 : pollution chronique due au trafic automobile.

Nota

En milieu urbain, au moins 40 % de ces micropolluants sont évacués vers le milieu naturel par le ruissellement pluvial.

4 - Les actions correctives possibles

La figure 5 visualise les effets négatifs de l'urbanisation sur le cycle de l'eau ; elle permet également de comprendre l'intérêt des chaussées à revêtement poreux et/ou à structures réservoirs.

- **Par temps de pluie :**

- en piégeant les polluants, les structures limitent l'effet de lessivage des chaussées, et par conséquent la pollution des cours d'eau,
- en créant des stockages, les structures régulent le débit instantané des cours d'eau et contribuent à réduire la fréquence des crues ;

- **Par temps sec :** en laissant s'infiltrer les eaux de ruissellement stockées, ces structures permettent de réalimenter les nappes et de pondérer les débits d'étiage. Le principe de ces corrections est de se rapprocher le plus possible du cycle naturel de l'eau en lui faisant emprunter des cheminements comparables à ceux qu'elle empruntait avant l'urbanisation.

Ce principe implique aussi le retour à une conception ancienne de la voirie qui lui faisait assurer, en surface, une double fonction :

- la fonction route (circulation) ;
- la fonction assainissement – cette fonction comprenait même l'évacuation des eaux usées, disposition légitimement abandonnée pour des raisons d'hygiène.

L'avènement de l'assainissement via la canalisation, conjugué à la distinction faite entre les services responsables respectivement des chaussées, de l'assainissement et même de l'urbanisme, a contribué à faire oublier des morphologies de voirie et des dispositions qui permettaient l'évacuation des EP (eaux pluviales) en toute sécurité, telles que :

- l'absence de rupture de pente ;
- des profils en travers adaptés (V) ;
- la présence de marches d'accès aux immeubles.

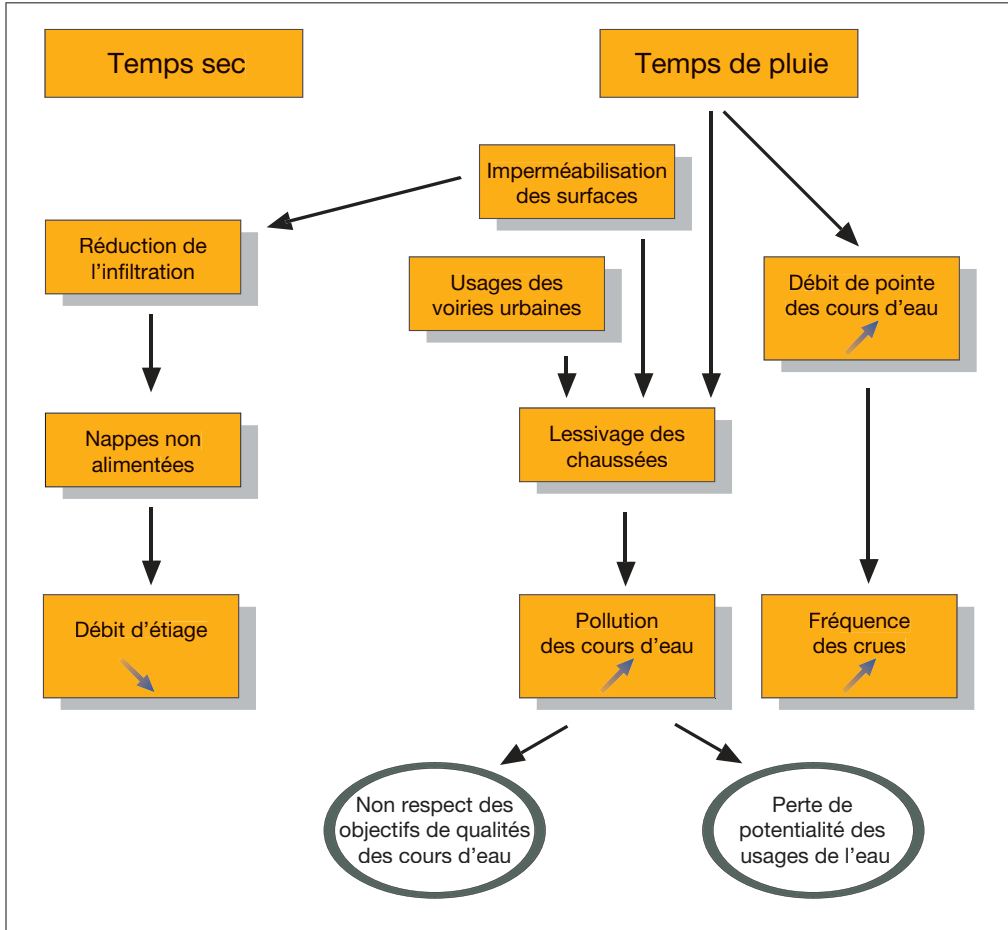


Figure 5 : influence des voiries urbaines sur le cycle de l'eau.

5 - Les chaussées à structures réservoirs et le risque d'inondation

Les développements récents de l'urbanisation ont montré que l'extension urbaine a tendance à se faire en amont des bassins versants. Mais l'impact par temps de pluie se produit, lui, en aval, sur des villes anciennes, dans les points bas, souvent en bordure des rivières ou des fleuves, avec des réseaux d'assainissement insuffisamment dimensionnés. L'insuffisance de



Des inondations de plus en plus fréquentes.

ces réseaux anciens, qui sont encore plus sollicités par la création de réseaux secondaires pour l'urbanisation de la périphérie des villes, conduit à des inondations de plus en plus fréquentes, même pour des événements pluvieux relativement courants. Cette situation est d'autant plus insupportable que les zones inondées sont des zones d'habitat ou d'activité, donc très sensibles.

Pour éviter l'installation de collecteurs de dimensions incompatibles (techniquement et économiquement) avec les sites urbains, on a de plus en plus recours à d'anciennes solutions comme les solutions compensatoires, dont le principe est de créer des stockages provisoires afin de retarder le transfert de l'eau vers les exutoires et/ou de faciliter son infiltration (figure 6).

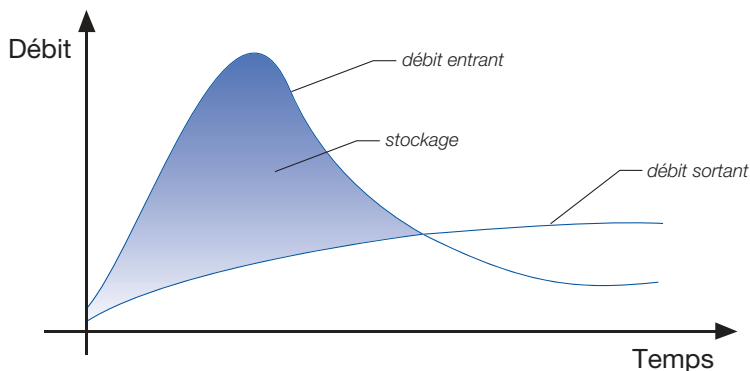


Figure 6 : effet du stockage temporaire sur les débits.

Un des premiers recours est la voirie, à laquelle on va redonner son rôle hydraulique vis-à-vis des inondations.

La route peut en effet :

- constituer une digue de protection ;
- évacuer les crues ;
- constituer des réservoirs de stockage « écrêteurs » de crues :
 - dans les zones amont des bassins versants (simples bassins de rétention) ;
 - dans toutes les zones, y compris aval (chaussées réservoirs au sens large).



Réalisation d'une structure réservoir en bétons poreux.

Les chaussées à structures réservoirs font partie de la panoplie des solutions compensatoires. Du fait de leur fonctionnement hydraulique, elles sont en mesure de protéger contre le risque d'inondation en cas de pluie, grâce à trois fonctions :

- le **recueil** de l'eau de pluie : que le recueil soit réparti (au travers d'un revêtement drainant) ou qu'il soit localisé (revêtement imperméable), la chaussée absorbe l'intensité maximale de la pluie ou le débit de pointe ;
- le **stockage temporaire** de l'eau dans la structure de chaussée ; le volume à stocker dépend de la quantité d'eau tombée et du débit de fuite que l'on a nécessairement limité ;
- la **régulation des débits**, c'est-à-dire la restitution lente et différée selon un débit de fuite maximal ; cette restitution se fait soit dans le système d'assainissement superficiel par l'intermédiaire d'un orifice calibré, soit par infiltration dans le sol support.

6 - Les chaussées à structures réservoirs face à la pollution

6.1 La pollution des eaux de ruissellement des chaussées urbaines

Le contexte urbain est propice à la production de polluants d'origines diverses, dont une bonne part se déposent sur la voirie et se retrouvent entraînés par le ruissellement des eaux de pluie. À la source, on trouve la pollution atmosphérique liée aux activités humaines qui produisent des gaz et des poussières : industrie, chauffage, moteurs à combustion... Mais on trouve également les particules et solides générés par la concentration humaine et par l'usage même de la voirie urbaine : circulation de véhicules et de piétons, débris d'espaces verts, détritus, déjections animales...

Le niveau de pollution des eaux de ruissellement urbain contraint désormais les aménageurs à ne pas envisager leur rejet sans précaution ; la loi sur l'eau (voir le sous-chapitre 8, page 33) est, à cet égard explicite.

Cette pollution est caractérisée essentiellement par :

- la discontinuité de sa mobilisation : elle ne se produit que par temps de pluie, avec de possibles effets de choc lors des orages importants ; elle conduit à des pollutions passagères, dues au lessivage des sédiments accumulés sur les chaussées ;
- des concentrations élevées en matières en suspension (MES) et en métaux lourds ; la pollution des eaux pluviales urbaines est essentiellement le fait des particules.

Les principaux paramètres de la pollution des eaux de ruissellement de chaussées sont :

- **pour la pollution mécanique :**
 - les MES (matières en suspension) ;
- **pour la pollution organique :**
 - la DCO : demande chimique en oxygène,
 - la DBO₅ : demande biochimique en oxygène en 5 jours (à un degré moindre),
 - les MVS (matières volatiles en suspension) ;

- **pour la pollution toxique**

(hiérarchisés par rapport à la nécessité d'intervenir en cas de présence) :

- le plomb (Pb) et les hydrocarbures totaux (HC),
- le mercure (Hg),
- le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le cadmium (Cd).

La pollution microbiologique est moins sensible dans le ruissellement pluvial.

Le tableau 1 illustre l'importance des masses de polluants mises en jeu annuellement. Le contexte dans lequel ces mesures ont été faites nécessite pour le réseau unitaire de majorer de 20 à 30 % les MES et la DCO, et de 50 % la DBO₅. Malgré cela, la pollution d'origine strictement pluviale est très significative.

**Tableau 1 : masses transportées annuellement (en kg/ha imperméabilisé)
à l'aval de bassins versants unitaires et pluviaux
(d'après Philippe, Ranchet et Chebbo)**

Paramètres de pollution	En collecteurs unitaires	En collecteurs pluviaux
MES	744 - 1 650	503 - 2 278
DCO	442 - 1 235	235 - 1 076
DBO ₅	85 - 233	39 - 206
HC	3 - 47	4 - 35
Pb	0,6 - 2	

Si la mobilisation des polluants est discontinue, leur production, quant à elle, est à la fois :

- **chronique** : il s'agit des retombées atmosphériques sèches, des apports des véhicules (carrosserie, gaz d'échappement, hydrocarbures, usure des pneumatiques, etc.), de l'usure des chaussées ;
- **saisonnnière** : il s'agit essentiellement des sels de déverglaçage en hiver ;
- **accidentelle** : déversement accidentel de chargements dangereux.

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de ruissellement de chaussée sont très variables d'un site à un autre. Elles sont notamment fonction :

- de l'intensité du trafic routier ;
- des caractéristiques de la chaussée, de son état d'usure et de son entretien ;
- du mode d'utilisation de la chaussée ;
- de l'environnement ;
- des caractéristiques de la pluie ;
- de la nature de l'entretien des chaussées.

6.2 - Impact du ruissellement sur les chaussées urbaines

En milieu urbain, les eaux de ruissellement de chaussées, très chargées en solides et en métaux lourds, contribuent immédiatement ou de façon différée à :

- porter atteinte aux équilibres de l'écosystème du milieu récepteur : apport d'eau sous-oxygénée, de matières organiques et de métaux lourds qui, à la fois sous forme dissoute et sous forme de particules, se retrouvent à l'état rémanent dans la chaîne alimentaire ; ce qui se traduit, par exemple, par des mortalités piscicoles ;
- menacer les usages de l'eau – prélèvements d'eau potable, conchyliculture, baignade, etc. –, entraînant ainsi des conséquences économiques localement très graves.

6.3 - Fonction épuratoire des chaussées à structures réservoirs

■ 6.3.1 - Influence sur la qualité des eaux à l'exutoire d'un bassin versant routier

Plusieurs études dans le monde ont mis en évidence une influence favorable des chaussées à structures réservoirs sur la qualité des eaux de ruissellement qui y transitent. Une diminution significative de la pollution a toujours été observée. Elle a pour origine :

- le rôle de filtre joué par les différentes couches poreuses, notamment le revêtement superficiel lorsque l'infiltration répartie le traverse ;
- les possibilités de décantation dues à la faible vitesse des écoulements dans ces structures ;
- l'infiltration éventuelle dans le sol sous-jacent.

Concernant les structures poreuses en béton, deux chantiers expérimentaux ont été suivis en France. Des échantillons ont été prélevés sur plus d'un an dans l'eau transitant par ces chaussées, qui ont ensuite été comparés à des prélèvements de ruissellement à l'exutoire de chaussées témoins étanches (même situation et même usage).

Le tableau 2 indique les abattements obtenus sur les concentrations dans les eaux pour ces deux structures réservoirs :

- parking commercial du Caillou à Bordeaux, pour des véhicules légers : 5 cm de béton bitumineux drainant sur 17 cm (en moyenne) de béton poreux ;
- avenue de la Porte-de-Vitry à Paris, trafic urbain lourd, très dense : 16 cm de béton drainant monocouche sur support en béton.

Ces abattements sont particulièrement significatifs et efficaces en termes de dépollution, car il s'agit ici de bassins versants urbains qui génèrent un ruissellement avec de fortes concentrations en polluants et en toxiques. Les concentrations observées étant nettement plus faibles pour des bassins versants routiers et autoroutiers en rase campagne*, la destination privilégiée des structures réservoirs serait donc la voirie urbaine et périurbaine.

Tableau 2 : abattements sur la pollution des eaux pluviales apportés par deux chaussées à structures réservoirs (Balades et al [1992], et Ranchet et al [1993])

	Abattements sur les concentrations en :		
	DCO	MES	Pb
Parking commercial à Bordeaux	89 %	50 %	93 %
Avenue de la Porte-de-Vitry à Paris	54 %	70 %	78 %



Revêtement d'une chaussée réservoir réalisé avec des pavés en béton perméables à l'eau.

* Réf. : Balades et al. (1994) ; Ranchet et al. (1993) ; LROP et Agence de l'eau Seine-Normandie (1994).

Mise en œuvre
d'un revêtement en
béton drainant.



■ 6.3.2 - Localisation de la pollution retenue dans une structure réservoir

Le fait d'avoir réduit la pollution dans les eaux à l'exutoire (largement en dessous des seuils généralement acceptables par les milieux naturels) signifie que la structure poreuse l'a retenue. Selon le mode d'introduction dans la structure, l'expérience montre que le piégeage de la pollution se fait à des niveaux différents selon le type de structure.

- Cas où le revêtement superficiel est drainant

Dans ce cas, le revêtement joue le rôle d'un filtre à particules et retient donc également les toxiques qui y sont liés, plomb et cadmium notamment. Avec le temps, les deux premiers centimètres tendent à se colmater, favorisant le piégeage de la pollution. Cette évolution limite la fonction hydraulique et nécessite donc des interventions d'entretien. Si le revêtement de la chaussée comporte des pavés poreux ou des dalles poreuses, la couche de sable support constitue un filtre supplémentaire très efficace pour stocker les polluants non piégés par le revêtement.

- Cas d'un revêtement étanche (entrée d'eau ponctuelle ou linéaire)

L'environnement du drain de distribution et le fond de la structure concentrent dans ce cas l'essentiel de la pollution piégée.

■ 6.3.3 - Risque de contamination des sols

Le risque de contamination des sols n'existe que lorsque l'évacuation de l'eau stockée est prévue uniquement par infiltration, solution qui n'est autorisée que lorsque la nappe n'est pas vulnérable. Lorsque le fond de la structure n'est pas étanche (infiltration d'eau possible), la présence d'un géotextile constitue également un piège à polluants très efficace, encore plus efficace avec le temps à mesure que progresse son colmatage. Seule une pollution des sols situés à proximité immédiate a pu être observée, dans les premiers temps de la vie des ouvrages.

■ 6.3.4 - *Pollution saisonnière*

Les sels de déverglaçage, dissous dans l'eau, ne sont pas piégés efficacement comme les autres polluants.

■ 6.3.5 - *Pollution accidentelle*

Par rapport aux chaussées classiques, les structures réservoirs présentent l'avantage de localiser et de confiner la pollution, de ralentir sa propagation et d'offrir des possibilités d'action, par rinçage et aspiration notamment. Le principe est moins évident dans le cas où l'infiltration est préconisée (ce qui n'est pas le cas dans les zones à risques), mais le ralentissement de la progression de la pollution est tel que les interventions restent possibles. La pollution accidentelle ne peut donc constituer un frein à l'utilisation des structures réservoirs.

6.4 - L'entretien des chaussées à structures réservoirs

Un entretien est nécessaire pour que ces structures puissent continuer d'assurer avec le meilleur rendement la fonction hydraulique pour laquelle elles ont été conçues. En ce sens, l'entretien préventif et curatif prévu au chapitre VII est efficace. Il l'est également vis-à-vis de la pollution accumulée, sous forme de particules fines agglomérées, sachant toutefois que les quantités de solides piégés sur les revêtements drainants ou à l'intérieur des structures poreuses sont suffisamment faibles pour ne pas nécessiter un entretien complémentaire. Du fait des faibles quantités générées, ce ne sont donc pas les critères de pollution qui sont déterminants pour les durées de service et de vie des chaussées à structures réservoirs. Les chaussées à structures réservoirs correspondent donc à un concept de « chaussées écologiques ». Contrairement aux chaussées classiques qui déplacent ou dispersent aveuglément la pollution, les structures réservoirs localisent et concentrent la pollution sur des sites identifiés. Sur ces sites, on sait que la migration des toxiques est minimale – elle n'a encore jamais été observée – et qu'il n'y a pas de risques pour les nappes aquifères et autres milieux récepteurs sensibles, préservant ainsi les divers usages de l'eau.

7 - Zones privilégiées pour les chaussées à structures réservoirs

La localisation privilégiée pour les structures réservoirs correspond évidemment aux régions à forte pluviométrie (Ouest) ou à orages violents et localisés (Sud-Est), mais *a priori*, il n'existe pas, en France, de réelle contre-indication climatique à leur implantation. Pour les villes situées au point bas des bassins versants et/ou soumises à une « contrainte aval » (cote des plus hautes eaux, marnage), les villes où la densité de l'urbanisation empêche économiquement l'aménagement de nouveaux collecteurs pour les bassins de stockage-décantation des stations d'épuration, les structures réservoirs s'imposent par leur double fonction hydraulique et épuratoire. Elles peuvent être affectées aux places, aux rues piétonnes, aux parkings, aux voies de lotissement, aux zones d'activités commerciales et industrielles. Les voies périurbaines à fort trafic pourraient alors être constituées de chaussées à revêtement drainant dont la capacité de stockage serait plus limitée.

8 - Les infrastructures urbaines et la loi sur l'eau

8.1 - La procédure d'autorisation ou de déclaration

Les infrastructures urbaines sont directement concernées par les dispositions de l'article 10 de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. Comme le souligne le diagramme illustrant leur influence sur le cycle de l'eau, ces infrastructures sont, aux termes de la loi, « susceptibles de présenter des dangers pour la santé et la sécurité publique, de nuire au libre écoulement des eaux, de réduire la ressource en eau, d'accroître notablement le risque d'inondation, de porter atteinte gravement à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique ».

L'article 10 instaure les régimes d'autorisation ou de déclaration dont l'application est réglementée par le décret n° 93-742 du 29 mars 1993. Un second décret n° 93-743 du 29 mars 1993 établit la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration, et fixe les seuils qualitatifs et quantitatifs qui déclenchent les procédures. Il a été modifié, à la date du 17 juillet 2006, pour y intégrer les rejets d'eau pluviale dans les eaux superficielles sur le sol ou dans le sous-sol. Pour des infrastructures en site urbain, les seuils fixés sont élevés ; ils sont notamment de :

- 20 hectares pour un bassin versant contribuant à un rejet d'eaux pluviales soumis à autorisation (1 ha pour déclaration) ;
- 120 kg de DBO₅ (demande biochimique en oxygène à 5 jours) pour le flux journalier d'un déversoir d'orage soumis à autorisation (12 kg pour déclaration), sachant qu'une forte pluie polluée en site urbain peut générer de 5 à 10 kg par jour et par hectare imperméabilisé.

La nomenclature reste toutefois très contraignante pour les travaux et ouvrages en rivières ou à leur voisinage : tous les ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, qui constituent un obstacle à l'écoulement des crues, sont soumis à autorisation.

Une demande d'autorisation comprend notamment un document d'incidence de l'opération sur le milieu aquatique (et sa préservation), la ressource en eau, les écoulements, le niveau et la qualité des eaux, le ruissellement... Ce document doit définir :

- l'origine des incidences chroniques, épisodiques ou accidentelles ;
- l'impact sur l'eau et les activités humaines ;
- l'influence des variations ;
- les mesures pour limiter les incidences, et notamment les mesures compensatoires et correctrices ;
- la prise en compte des objectifs de qualité et des documents de planification.

Pour une opération concernant, en plus des travaux de voirie, d'autres types de travaux (cas des opérations d'aménagement, des lotissements...), la demande d'autorisation est à présenter par le maître d'ouvrage pour l'ensemble des travaux de l'opération, lorsque cette opération se situe au-delà du seuil fixé par la nomenclature, même si l'un des types de travaux (par exemple la voirie) se situe en deçà.

8.2 - Le zonage « eaux pluviales »

Les communes (ou groupements) ont obligation – article 35-3 de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 –, si le risque est avéré, après enquête publique, de délimiter les zones où :

- des mesures sont à prendre pour limiter l'imperméabilisation des sols et maîtriser les débits et les écoulements ;
- des dispositions sont nécessaires pour réduire l'impact des eaux pluviales.

Pour cela, en fonction des insuffisances qualitatives (pollution du milieu naturel) et/ou quantitatives (inondations) mises en évidence, et en tenant compte de la vulnérabilité de secteurs identifiés, le territoire concerné est découpé en zones sur lesquelles sont fixés des seuils de limitation des débits et où sont positionnés d'éventuels dispositifs de rétention, de stockage et de traitement des eaux pluviales.

En annexant ce zonage aux plans d'occupation des sols, les communes aident les aménageurs à respecter ces dispositions dans leurs projets.

Les chaussées poreuses, et plus particulièrement les chaussées à structures réservoirs, procurent des réponses simples et pratiques aux contraintes imposées par la loi sur l'eau aux infrastructures urbaines. À ce titre, elles permettent d'apporter :

- des mesures compensatoires et correctrices sur les incidences des projets (art. 10) ;
- des moyens pour maîtriser les débits lors des fortes pluies et réduire l'impact des rejets urbains par temps de pluie (art. 35.3).



Chapitre

3

Les concepts et atouts des revêtements et structures réservoirs

1 - Les concepts

**2 - Les atouts des chaussées
à structures réservoirs en béton**

Une chaussée à structure réservoir est une chaussée dont au moins une couche du corps de chaussée est constituée d'un matériau poreux ou drainant dont le taux de vides communicants (porosité utile) est supérieur à 15 %, l'épaisseur de cette couche étant supérieure à 10 cm.

1 - Les concepts

Il est possible de classer les différentes familles de chaussées à structures réservoirs en fonction :

- des conditions de l'entrée des eaux dans la structure, celle-ci pouvant être soit répartie à travers un revêtement drainant, soit ponctuelle et/ou linéaire à partir de caniveaux ou de puits d'infiltration ;
- des conditions de l'évacuation hors de la structure, celle-ci pouvant s'effectuer soit par infiltration lente et directe dans le sol de la plate-forme, par renvoi dans le réseau collecteur via un système régulateur.

La figure 7 illustre les différents concepts de chaussées à structures réservoirs.

L'infiltration est la solution à privilégier pour son efficacité hydraulique et épuratoire. Il est pour cela nécessaire que **la perméabilité du sol support soit supérieure à 10^{-5} m/s**. Si elle est inférieure à 10^{-5} m/s et supérieure à 10^{-7} m/s, il faut envisager un complément à l'infiltration comme un raccordement au réseau par un orifice calibré ou une évacuation par un système de drains diffuseurs.

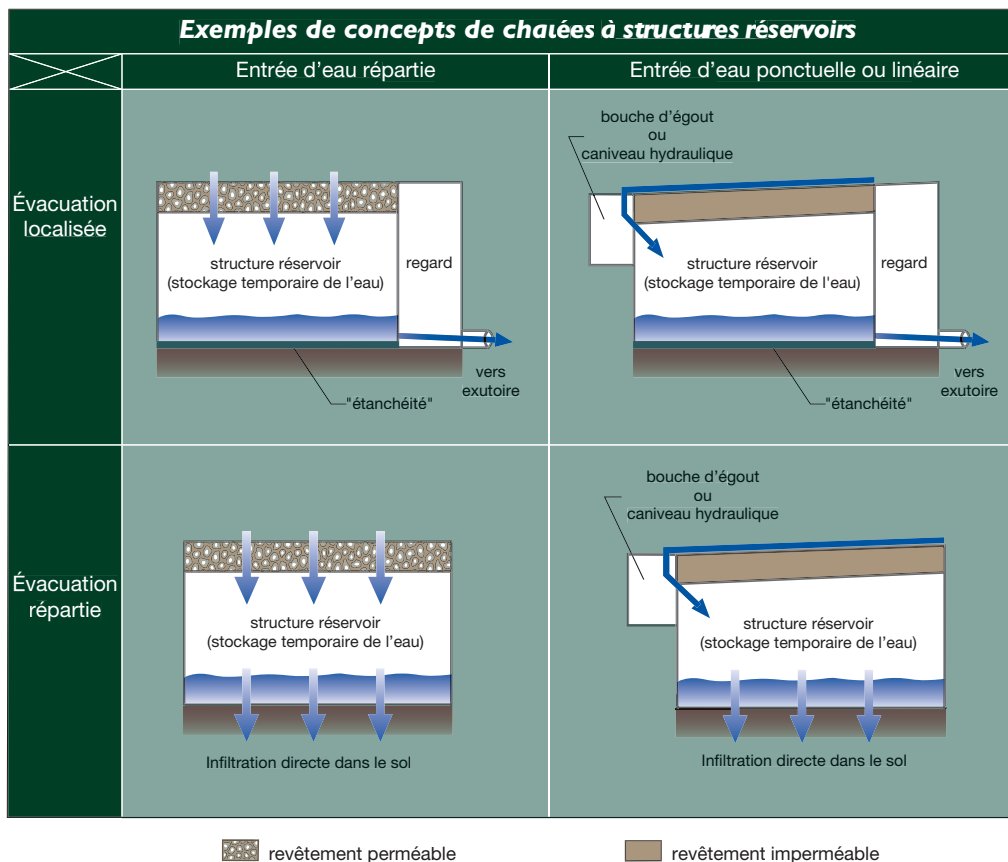


Figure 7 : différents concepts de chaussées à structures réservoirs.

La figure 8 donne des exemples en matière de choix et de combinaison de matériaux pour les chaussées à structures réservoirs.

Il est évidemment possible de combiner ces concepts en fonction des caractéristiques du projet. Par exemple, une structure réservoir sous le parking VL d'une grande surface commerciale sera alimentée :

- directement par le revêtement drainant du parking VL ;
- par les caniveaux et avaloirs pour les eaux de la voirie PL à revêtement étanche ;
- par les chéneaux et tuyaux pour les eaux des toitures des bâtiments.

Nota

pour des ouvrages très peu ou non soumis à la circulation, les dalles en béton posés sur plots, qui sont largement répandues dans les zones d'urbanisation récente (cas des toitures-terrasses), entrent également dans le concept de chaussée réservoir; l'avantage de ces structures réside dans leur forte capacité de stockage, dès lors que la conception l'a prévu.

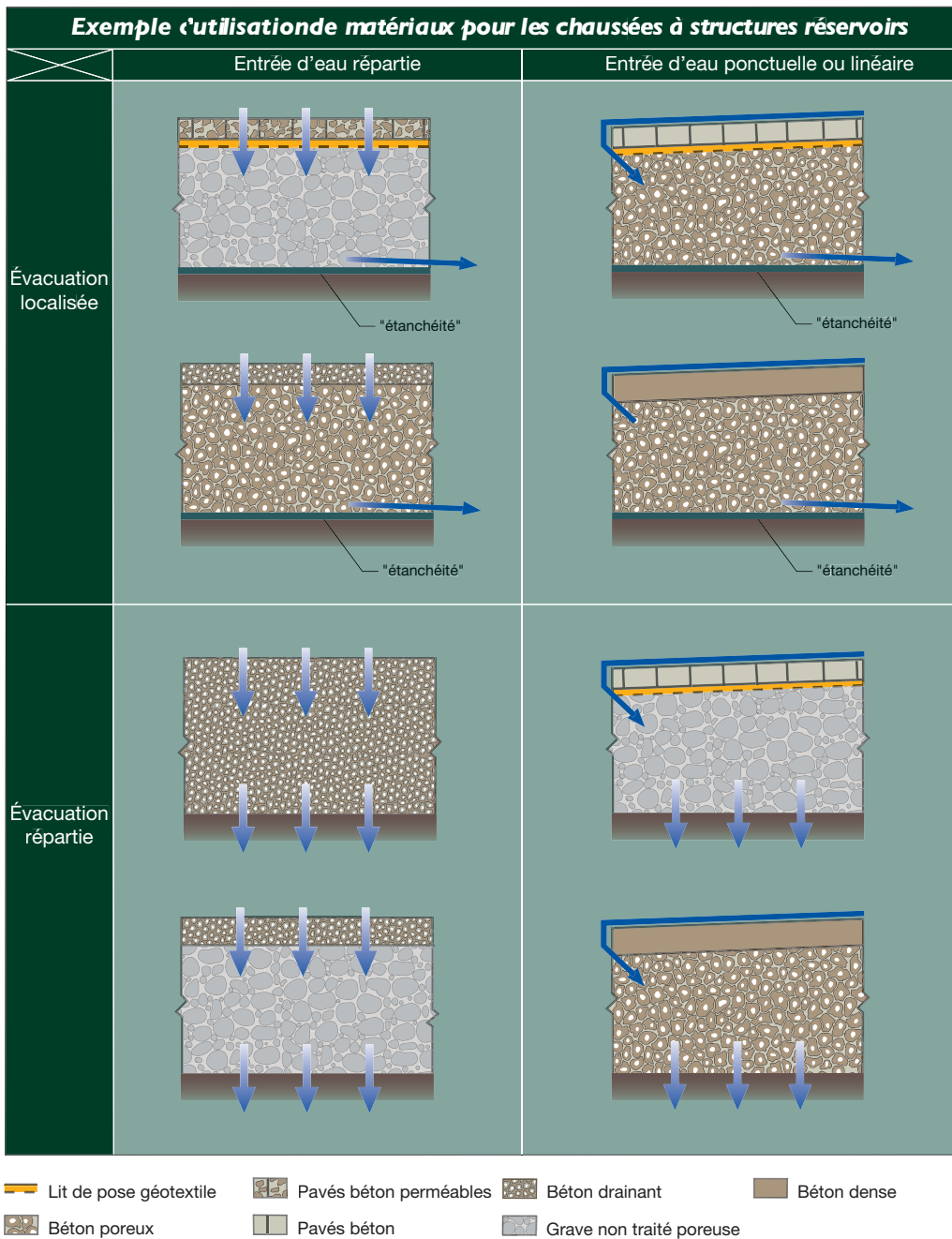


Figure 8 : exemples d'utilisation de matériaux pour les chaussées à structures réservoirs.

2 - Les atouts des chaussées à structures réservoirs en béton

Un projet de chaussée à structure réservoir permet de répondre aux différents besoins en milieu urbain ou périurbain. Au même titre qu'une chaussée classique, les chaussées à structures réservoirs doivent assurer une fonction mécanique. En milieu urbain, en effet, et bien que l'agressivité des véhicules lourds soit plus faible, les sollicitations peuvent cependant être sévères sur certaines zones : carrefours, voies réservées aux transports en commun, canalisation du trafic... Il faut remarquer que les bétons drainants, qui peuvent être mis en œuvre en couche unitaire base/roulement jusqu'à 17 cm pour de faibles trafics, offrent en plus de la fonction mécanique une capacité de stockage intéressante des eaux pluviales ($\approx 35 \text{ l/m}^2$). Mais les revêtements et chaussées à structures réservoirs assurent également d'autres fonctions.

2.1 - La fonction hydraulique

Il s'agit en fait d'une fonction de régulation qui consiste à :

- absorber rapidement le flux des eaux atmosphériques lors d'un événement pluvial ;
- stocker temporairement le volume des eaux correspondant à ce flux ;
- restituer ce volume à un débit suffisamment faible pour être absorbé soit :
 - directement par le sol en place lorsque ses caractéristiques de perméabilité et de stabilité le permettent,
 - par un collecteur existant,
 - par le sol et par un collecteur,
 - par un dispositif de traitement (par exemple : séparateur à hydrocarbures).

2.2 - La fonction écologique

L'intégration des critères liés à l'environnement peut aussi orienter les choix du concepteur, et ce, à plusieurs niveaux :

- réalimentation des nappes phréatiques dans le cas d'une évacuation par infiltration dans le sol (pour éviter que la nappe ne soit contaminée au contact d'un

quelconque polluant susceptible de migrer dans l'environnement, en particulier au-dessous de la structure, il est nécessaire de disposer d'une épaisseur de sol non saturé de l'ordre de 1 m) ;

- piégeage d'une partie de la pollution dans des endroits prédéterminés, rendant ainsi possible un traitement ultérieur (par exemple : décolmatage) ;
- évacuation à faible débit vers le milieu récepteur après une sédimentation préalable.

2.3 - La fonction esthétique

En milieu urbain, il convient d'accorder une attention particulière au facteur esthétique des revêtements de chaussée et aux conditions d'intégration de l'ouvrage dans son environnement. Il existe une grande variété de solutions :

- pour les revêtements coulés en place, le concepteur peut jouer sur la teinte, sur le traitement de surface (désactivation, balayage, bouchardage, grenailage, etc.) et éventuellement sur les motifs en surface (béton imprimé) ;



Revêtement à fonction esthétique : le béton désactivé.



Revêtement à fonction d'intégration à l'environnement : le béton imprimé.

• pour les revêtements modulaires, cette variété porte sur les dimensions (pavés, dalles), sur les formes, sur la texture (lavage, bouchardage, grenailage, sablage, etc.), sur l'appareillage, la teinte, la largeur des joints...

Notons que l'association entre les deux techniques (coulé en place, modulaire) est très satisfaisante.



*Revêtement modulaire pavés en béton :
richesse des formes, des couleurs et des textures.*

*Revêtement modulaire en dalles béton :
variété des formes, des couleurs
et des textures.*

*Revêtement urbain :
exemple d'association entre béton coulé
en place et éléments modulaires.*



*Aménagement urbain : utilisation judicieuse et complémentaire
du béton coulé en place et des pavés béton.*



2.4 - Fonctions confort et sécurité

Les revêtements en béton drainant ou en pavés bétons classiques ou poreux réalisés sur zones piétonnes et chaussées :

- assurent aux piétons l'absence de flaques et de projections d'eau ;
- limitent le ruissellement ;
- éliminent les risques d'aquaplanage ;
- réduisent les bruits de roulement des véhicules et amortissent les bruits mécaniques.

Par ailleurs, une chaussée réservoir avec revêtement drainant en béton s'accommode des autres principes d'aménagement qui favorisent la sécurité comme :

- un choix varié de couleurs et d'aspects permettant de rompre la monotonie ;
- la possibilité d'intégrer la réalisation d'une signalisation horizontale (passages protégés, parkings...) ;
- une adhérence élevée qui élimine pratiquement tout problème de glissance ;
- une visibilité nocturne améliorée grâce au choix d'une teinte dominante claire, et une réduction de la réverbération.

Les constituants

- 1 - Le béton de ciment dense**
- 2 - Le béton de ciment drainant et le béton de ciment poreux**
- 3 - Grave non traitée poreuse**
- 4 - Les produits de voirie en béton**
- 5 - Les composants en béton pour réseaux d'assainissement**
- 6 - Autres matériaux pour structures poreuses**
- 7 - Matériaux pour construction**
- 8 - Procédure pour les commandes de BPE**

1 - Béton de ciment dense

Les bétons de ciment destinés à la réalisation de voiries et d'aménagements urbains entrent dans le champ d'application de la norme NF P 98-170: « Chaussées en béton de ciment exécution et contrôle ». Cette norme classe ces bétons suivant leur résistance mécanique. Cette résistance mécanique est mesurée soit par l'essai de fendage, soit par l'essai de compression. Pour les bétons destinés aux revêtements et structures réservoirs, les classes de résistances peuvent être choisies parmi celles figurant dans le tableau 3.

Tableau 3: classes de résistance des bétons de ciment pour chaussées selon norme NF P 98-170

Classe de résistance	Résistance caractéristique à 28 jours en MPa	
	Compression NF EN 12390-3	Fendage NF EN 12390-6
5	-	2,7
4	-	2,4
3	25	2
2	20	1,7
1	15	1,3

Les classes 1, 2 correspondent à des bétons de faible résistance et donc destinés aux couches d'assise de chaussées. (Les dosages en ciment de ces bétons sont en général plus faibles; ils seront dénommés « bétons maigres » dans la suite du document). La classe 3 correspond aux couches d'assise et aux couches de roulement pour des trafics inférieurs ou égaux à 150 PL/jour. Les classes 4 et 5 sont destinées aux couches de roulement. Lorsqu'ils sont fabriqués par les centrales BPE, ces bétons de classes 4 et 5 sont conformes à la norme NF EN 206-1. À ce titre, ils répondent aux conditions de dosage en liant ou en liant équivalent, aux résistances minimales et au rapport eau/liant maximal de la classe d'exposition XF₂ ou XF₄ (environnement humide avec gel modéré ou sévère et produits dégrivants). Ils sont de type « non armé » (NA).

La formulation des bétons devra obligatoirement comprendre un adjuvant entraîneur d'air pour obtenir un pourcentage minimal d'air occlus de 4 % afin d'assurer leur résistance au gel. La consistance des bétons sera adaptée aux moyens de mise en œuvre du chantier.

2 - Le béton de ciment drainant et le béton de ciment poreux

La norme NF P 98-170 définit les bétons drainants et poreux comme des bétons présentant en place une porosité ouverte (utile) ou pourcentage de vides communicant entre eux et avec l'extérieur supérieure à 10 %. Par convention, nous distinguerons dans ce document :

- **les bétons drainants destinés à la réalisation des couches de roulement qui présentent :**

- une granulométrie discontinue 0/8 ou 0/10 ou 0/14,
- une porosité ouverte $15 < P < 20$ %,
- des résistances de classe 3 et 4 ;

- **les bétons poreux utilisés en couche d'assise qui présentent :**

- une granulométrie discontinue 0/20 ou 0/25,
- une porosité ouverte > 20 %,
- des résistances de classe 1 et 2.



Aspect d'un revêtement en béton drainant.

Les vides sont obtenus grâce à une formulation spécifique utilisant des granulométries discontinues, et non par un compactage insuffisant. Ils sont d'une taille suffisante pour permettre de stocker temporairement l'eau et de l'évacuer ensuite vers un exutoire. Ces bétons, comme tous les bétons de ciment routiers, doivent obligatoirement contenir un adjuvant entraîneur d'air. Leur formulation peut aussi comprendre des additions, des adjuvants et des fibres.

2.1 - Ciments

Les ciments doivent être conformes à la norme NF EN 197-1. Les ciments CEM I, CEM II/A ou B et les CEM III/A ou B sont les plus utilisés pour la formulation des bétons routiers. Il est aussi possible d'utiliser des CEM III/C ou des CEM V/A, en particulier si l'on souhaite obtenir des bétons respectivement clairs ou foncés.

Les ciments de classe 32,5 N conviennent en général pour obtenir les résistances mécaniques demandées. Cependant, pour un retour à la circulation rapide, des ciments de classe 42,5 N peuvent être nécessaires, ainsi que des ciments de classe R ayant des vitesses de durcissement élevées. Dans certains cas, afin d'assurer la pérennité de la structure face à des agressions chimiques suite à l'épandage accidentel de produits ou de liquides agressifs, des ciments de type PM (prise mer) ou ES (eaux sulfatées) pourront être préférés.

2.2 - Granulats

Les granulats doivent répondre aux spécifications de la norme NF EN 12620 et à la norme XP P 18-545. Ces spécifications concernent notamment la granularité, la forme et la propreté des granulats. De nombreux types de granulats peuvent convenir sous réserve d'être non gélifs (matériaux éruptifs, sédimentaires, calcaires ou siliceux, roulés ou concassés). Les granulométries discontinues du type 0/4 + 10/14; 0/2 + 6/10; 0/4 + 10/20 sont couramment utilisées.

- Caractéristiques intrinsèques des gravillons : catégorie B, C ou D selon le type d'application et de trafic.
- Caractéristiques de fabrication des gravillons : catégorie III.
- Caractéristiques de fabrication des sables et des sablons : catégorie A.

Les caractéristiques des granulats destinés à la confection de **bétons drainants** et de **bétons poreux** sont précisées respectivement dans le tableau 4.

Tableau 4 : caractéristiques des granulats pour chaussées en béton			
Usages	Caractéristiques	Classes de trafic⁽¹⁾	
		≤ T₃ ou aéronautique	> T₃
Béton de fondation ou béton drainant	intrinsèques des gravillons	Code D	
	de fabrication des gravillons	Code III bis	
	de fabrication des sables	Code a bis	
Béton de roulement	intrinsèques des gravillons	Code C	Code B
	de fabrication des gravillons	Code III bis	
	de fabrication des sables	Code a bis	

1. Classe T₃ : moins de 150 poids lourds par jour et par sens.

Nota

Il est possible d'utiliser des granulats ayant des caractéristiques inférieures aux spécifications minimales requises pour couche de roulement, sous réserve que l'une des fractions des gravillons présente dans la composition du béton, respecte ces exigences et que cette fraction granulaire soit d'au moins 450 kg de matériaux par mètre cube de béton.

2.3 - Additions, adjuvants, fibres, colorants

Les additions, qui doivent être conformes aux normes en vigueur, permettent d'améliorer les propriétés du béton à l'état frais (consistance, rétention d'eau, cohésion, « moulabilité »...) ou ses résistances mécaniques.

Les adjuvants (plastifiants, réducteurs d'eau plastifiants, entraîneur d'air, retardateurs et accélérateurs de prise, etc.) permettent d'améliorer les caractéristiques du béton et de faciliter sa mise en œuvre. Ils doivent être conformes aux normes en vigueur.

L'addition de fibres polyester ou polypropylène dans le béton peut améliorer la cohésion du béton frais, notamment, et la résistance à la fissuration de retrait.

Les colorants peuvent être incorporés lors de la fabrication du béton sous forme de liquides ou de poudres.

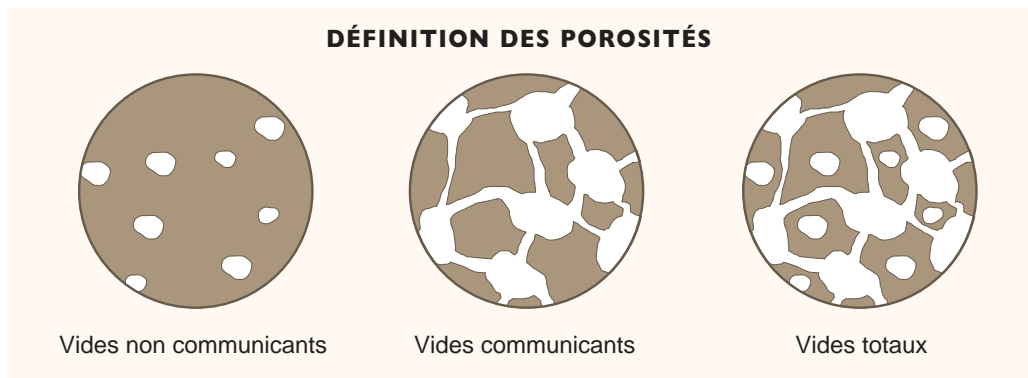
2.4 - Caractéristiques physiques et mécaniques des bétons

Les caractéristiques des bétons poreux et drainants dépendent des fonctions à remplir dans la structure réservoir et des conditions et moyens de mise en œuvre.

■ 2.4.1 - Porosité ouverte ou utile

Elle représente, une fois le béton mis en place, le pourcentage de vides communicant entre eux et avec l'extérieur. La porosité ouverte s'exprime en pourcentage.

Elle peut être mesurée soit sur des éprouvettes fabriquées en laboratoire, soit sur des carottes prélevées *in situ*.



■ 2.4.2 - Consistance

La consistance des bétons drainants ou poreux sera en général ferme (affaissement au cône d'Abrams inférieur à 1 cm). Elle doit être compatible avec les conditions atmosphériques prévisibles sur le chantier jusqu'à la fin de sa mise en œuvre sans addition d'eau.

■ 2.4.3 - Air occlus

Comme tout béton routier, les bétons drainant ou poreux doivent présenter une résistance suffisante vis-à-vis du gel et des sels de deverglaçage. Leur formulation devra donc obligatoirement contenir un adjuvant entraîneur d'air dans le but d'améliorer la résistance du mortier à ces agressions. La teneur en air occlus est mesurée sur le mortier. Elle devra être au minimum de 7 %.

■ 2.4.4 - Perméabilité

L'essai consiste à mesurer le temps d'écoulement d'une quantité d'eau à faible charge à travers une surface délimitée d'un revêtement. La perméabilité est mesurée par la vitesse de percolation en centimètre par seconde. Il est généralement demandé une perméabilité supérieure 1 cm/s pour les bétons drainants.

■ 2.4.5 - Résistance mécanique

Les bétons routiers sont classés dans la norme NF P 98-170 suivant leurs résistances mécaniques. Pour les revêtements et structures réservoirs, les valeurs de classe suivantes pourront être retenues en fonction des types de trafic (tableau 5).

Tableau 5: choix de la classe du béton en fonction du trafic

Trafic	< 5 PL/J	5 à 50 PL/J	> 50 PL/J
Couche de roulement	CLASSE 3	CLASSE 3	CLASSE 4
Couche d'assise	CLASSE 1 et 2	CLASSE 2 ou 3	CLASSE 2 ou 3

À chaque classe de résistance du béton, il peut être associé, compte tenu des connaissances actuelles la porosité utile maximale qu'il est possible d'obtenir. (tableau 6). Une porosité minimale de 15 % étant dans tous les cas souhaitables afin de limiter les phénomènes de colmatage.

Tableau 6 : relation classe de résistance/porosité du béton

Classe de résistance	Porosité maximale
4 (2,4 MPa)	20 %
3 (2 MPa)	22,5 %
2 (1,7 MPa)	25 %
1 (1,3 MPa)	30 %

(x MPa) résistance caractéristique à 28 jours par fendage.

On remarque que les résistances mécaniques des bétons sont inversement proportionnelles à leur porosité.

3 - Grave non traitée poreuse

La grave non traitée poreuse (GNTP) est constituée de granulats concassés conformes à la norme NF EN 12620 et à la norme XP P 18-545 et de granulométrie d/D . Elle est obtenue à partir d'une grave concassée $0/D$ en éliminant la fraction sableuse $0/d$.

d et D doivent respecter les conditions suivantes :

- $d > 8$ mm
- $25 < D < 100$ mm
- $\frac{D}{d} > 3$ afin d'assurer une bonne stabilité.

La dureté des granulats, pour résister à l'attrition et à la fragmentation, présentera les caractéristiques suivantes :

- $LA < 30$
- $MDE < 25$

De plus, le passant à 2 mm sera inférieur à 3 %.

Les graves non traitées poreuses présentent des porosités utiles de l'ordre de 40 %. Elles pourront être utilisées pour constituer les couches d'assise des structures réservoirs. Les granulométries les plus couramment utilisés sont : 10/80 ; 20/70 ; 10/100.

4 - Les produits de voirie en béton

4.1 - Pavés en béton

Ce sont des éléments modulaires en béton tels que le rapport de la surface de la face vue (en cm²) à leur épaisseur (en cm) est < 100*.

■ 4.1.1 - Les pavés traditionnels

Ils sont constitués d'un béton de masse avec ou sans béton de parement. Ils sont destinés à réaliser des revêtements de sol traditionnels (le plus souvent extérieurs) et les revêtements de chaussées réservoirs « imperméables » au sens des schémas conceptuels du chapitre III. Les pavés traditionnels sont des produits normalisés (norme NF EN 1338).

Les spécifications données dans les normes portent sur :

- l'aspect ;
- les tolérances dimensionnelles ;
- la résistance mécanique (traction par fendage) ;
- la résistance à l'usure ;
- la durabilité (résistance au gel et sels de déverglaçage, absorption d'eau).

* Dans la norme NF EN 1338, un produit est un pavé si le rapport de sa longueur à son épaisseur est au plus égal à 4 et si la dimension horizontale de toute section transversale distante de plus de 50 mm d'un bord quelconque est (50 mm).



Revêtement en pavés béton : des possibilités illimitées de créativité.

Les pavés en béton font l'objet d'une marque NF de conformité à la norme. Les formes proposées sont multiples et variées. On distingue :

- les pavés classiques non autobloquants (carrés, rectangulaires...);
- les pavés autobloquants à emboîtements unidirectionnels et multidirectionnels (forme en I, en Z...);
- les pavés autobloquants à emboîtement et épaulement : il y a dans ce cas double liaison (verticale et horizontale) entre les éléments du revêtement.

Les épaisseurs varient de 6 à 13 cm.

Les pavés reçoivent en général un traitement de surface (lavage, bouchardage, piquetage, martelage, grenailage, sablage...) et/ou ils peuvent présenter une surface avec relief.

■ 4.1.2 - Les pavés perméables

Comme leur nom l'indique, les pavés perméables sont des pavés aptes à laisser passer un certain débit d'eau par unité de surface et peuvent donc entrer dans la constitution d'un revêtement perméable d'une chaussée réservoir. Il n'existe à ce jour ni recommandation française, ni norme relative aux pavés perméables. On peut toutefois retenir les pratiques actuelles :

- les formes et dimensions des pavés perméables sont les mêmes que celles des pavés traditionnels;
- la perméabilité est à ajuster en fonction de la pluviométrie locale, du degré de protection souhaité vis-à-vis des inondations et du risque de colmatage;
- une valeur de 0,1 cm/s constitue un bon compromis compte tenu des risques de colmatage.

Résistance mécanique

- L'essai de fendage utilisé pour les pavés en béton traditionnel reste applicable.
- Une valeur caractéristique de 3 MPa peut être retenue, avec aucune valeur individuelle inférieure à 2,4 MPa.
- L'essai d'usure par abrasion reste également applicable pour les pavés perméables. La spécification correspondante (largeur d'empreinte inférieure à 25 mm ou 22 mm selon l'abrasif) peut aussi être appliquée pour ce type de produit. Un choix de granulats appropriés, en effet, doit permettre de répondre de manière satisfaisante à une telle spécification.

Mise en œuvre

Le remplissage des joints se fait avec un sable dépourvu d'éléments fins pour limiter les risques de colmatage.

■ 4.1.3 - Les pavés à joints larges

Afin de constituer un revêtement perméable, des pavés traditionnels ou perméables peuvent être posés avec des joints larges. Cela permet l'infiltration de l'eau non seulement à travers le matériau mais aussi dans les joints. Les pavés peuvent alors comporter des ergots d'écartement ou « écarteurs » qui assurent ainsi des largeurs de joints constantes. Une autre solution consiste à utiliser des écarteurs indépendants des pavés (figure 9).

Les écarteurs ou le choix de formats particuliers permettent une reprise des efforts horizontaux liés notamment au trafic.



Revêtement en pavés béton à joints larges.

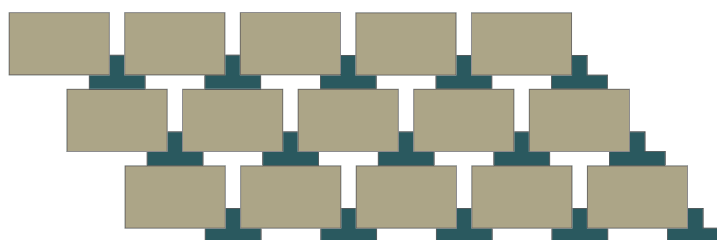


Figure 9: appareillage de pavés avec écarteurs.

■ 4.1.4 - Les pavés perforés ou écornés

L'infiltration de l'eau peut se faire au travers de perforations ménagées au cœur ou en bordure de produits constitués d'un béton dense classique. Par exemple, certains pavés ont un de leurs coins supprimé, et ces « triangles d'infiltration » peuvent être remplis de matériaux compactés ou en vrac.

Nota

le choix de telle ou telle solution doit s'appuyer sur des considérations liées au trafic et au risque de colmatage mais aussi sur l'esthétique. Ainsi, les pavés voirie traditionnels peuvent être utilisés sur des chaussées supportant un trafic ≤ 150 PL/jour.

En revanche, les autres solutions (pavés perméables, pavés à joints larges et pavés perforés) sont à réserver en général à des chaussées moins sollicitées correspondant à des trafics ≤ 15 PL/jour.

4.2 - Dalles en béton

Ce sont des éléments plans, tels que le rapport de la surface de la face vue (en cm^2) à leur épaisseur (en cm) est ≥ 100 . Les dalles* entrent le plus souvent dans la constitution d'un revêtement « imperméable » au sens des schémas conceptuels du chapitre III. Les dalles en béton sont des produits normalisés (norme NF EN 1339). Les spécifications portent sur :

- l'aspect ;
- les tolérances dimensionnelles ;
- la résistance mécanique (résistance à la flexion) ;
- la durabilité (résistance au gel et aux sels de déverglaçage, absorption d'eau).

* Dans la norme NF EN 1339, un produit est une dalle si le rapport de sa longueur à son épaisseur est $>$ à 4 et si sa plus grande dimension est limitée à 1 m.



Revêtement en dalles grenailées.

Les dalles en béton font l'objet d'une marque NF de conformité à la norme. Elles sont de forme carrée ou rectangulaire et présentent des aspects de surface variés : béton gris, béton blanc, gravillons lavés, béton poli, grésé, grenailé, bouchardé, flammé...

Nota

Pour les voies supportant un trafic automobile, des dalles de classe minimale S4, au sens de la marque NF relative à la norme NF EN 1339, sont nécessaires.

4.3 - Les revêtements modulaires pas ou peu perméables

Ils sont réalisés avec des pavés traditionnels ou des dalles, la pénétration possible de l'eau ayant lieu par les joints, qui seront les plus minces possible.

4.4 - Les revêtements modulaires perméables

Ils sont réalisés soit avec des pavés traditionnels perforés ou écornés posés éventuellement avec des joints larges, soit avec des pavés perméables (qui peuvent également être posés avec des joints larges).

4.5 - Bordures et caniveaux

Ce sont des éléments en béton manufacturé servant à délimiter les trottoirs, les accotements, les îlots ou les terre-pleins et, pour certains d'entre eux, à l'acheminement des eaux de ruissellement. Les bordures et caniveaux en béton sont des produits normalisés: norme NF EN 1340 et NF P 98-340/CN. Cette norme distingue les profils (figure 10) et les catégories de produits suivantes :

A: bordures franchissables pour accotement de routes ou d'autoroutes ;

P: bordures pour parcs de stationnement, allées, terrains de sport ;

T: bordures de trottoir pour voiries urbaines ;

CS: caniveaux simple pente à associer avec A ou T ;

CC: caniveaux double pente ;

I: bordures pour îlots directionnels.

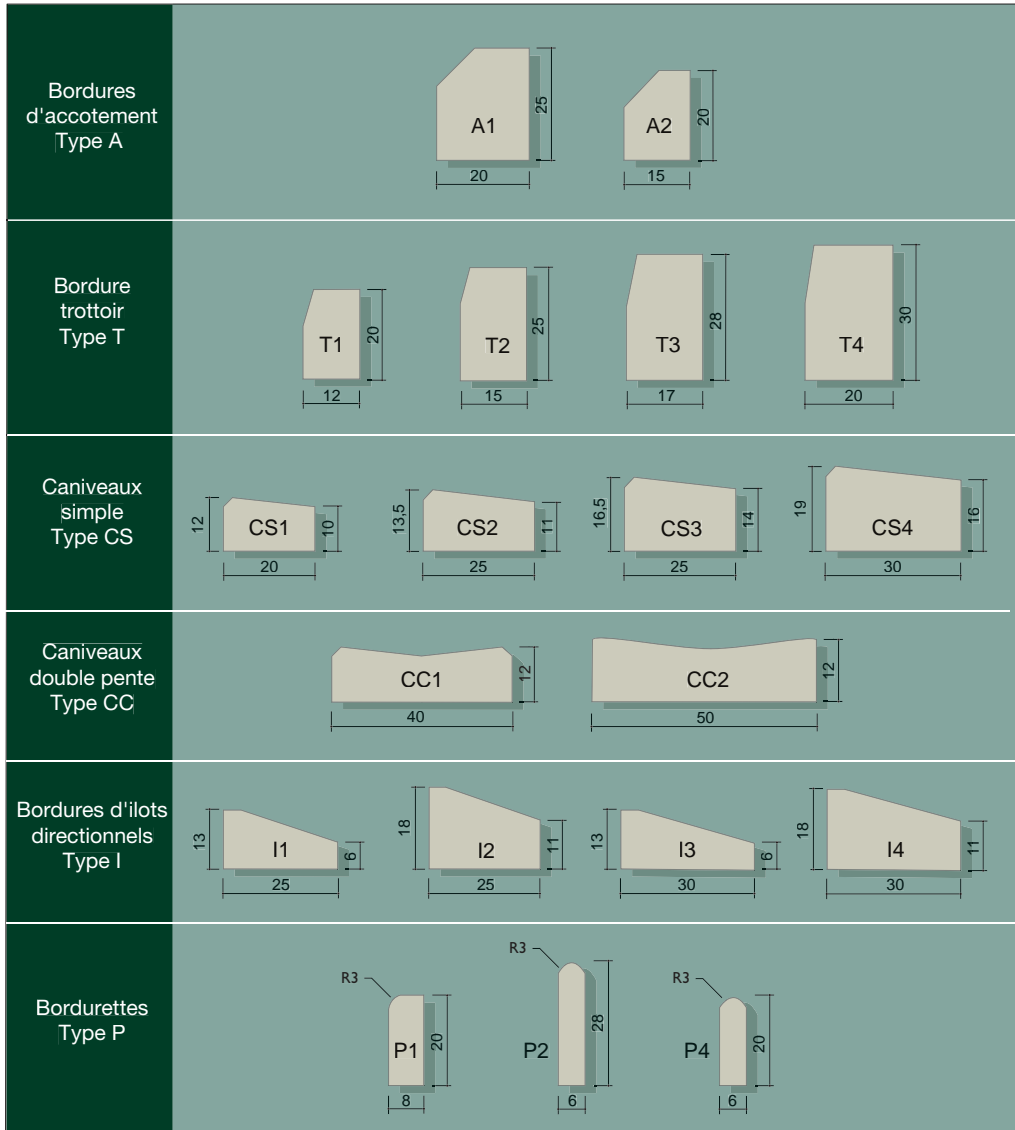


Figure 10: Profils de bordures et caniveaux selon NF EN 1340 et NF P 98-340/CN.

Nota

ces éléments jouent un rôle principal dans l'acheminement des eaux de ruissellement vers les entrées dans la structure réservoir.

Les bordures et caniveaux préfabriqués en béton font l'objet d'une marque NF de conformité à la norme. Le contrôle qui y est attaché porte sur les matières premières, le béton frais, les caractéristiques géométriques des produits, leur aspect et leur résistance en flexion-poinçonnement et éventuellement la caractéristique « + R » (résistance renforcée au gel et aux sels de déverglaçage).

5 - Les composants en béton pour réseaux d'assainissement

Ne seront détaillés dans ce document que les éléments susceptibles d'entrer fréquemment dans la constitution d'une structure réservoir.

5.1 - Schéma global (figures 11, 12 et 13)



Figure 11:
vue d'ensemble

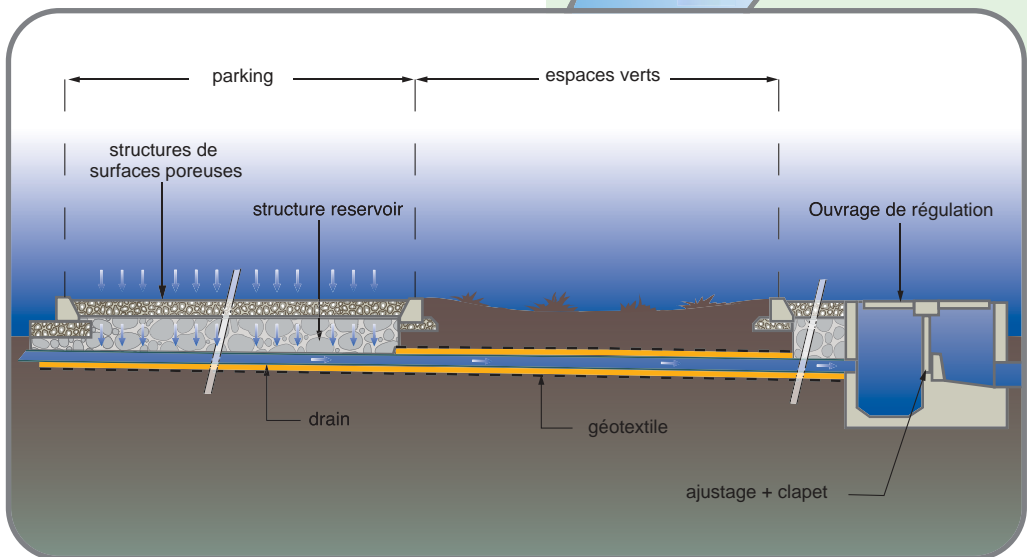


Figure 12: zoom sur le parking

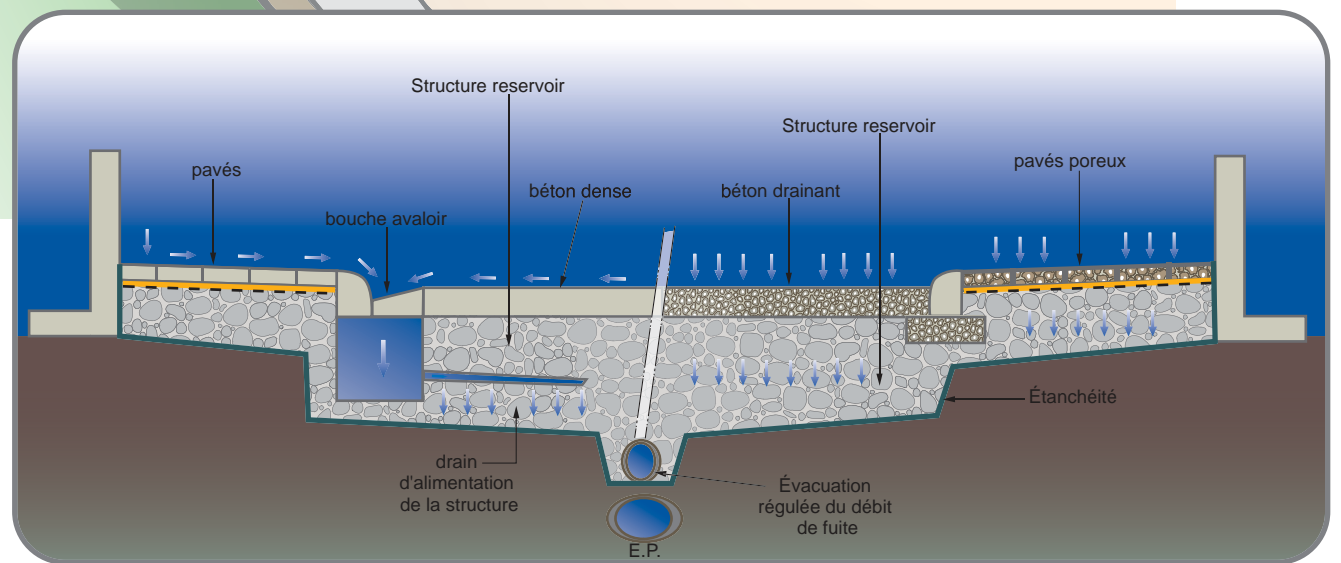
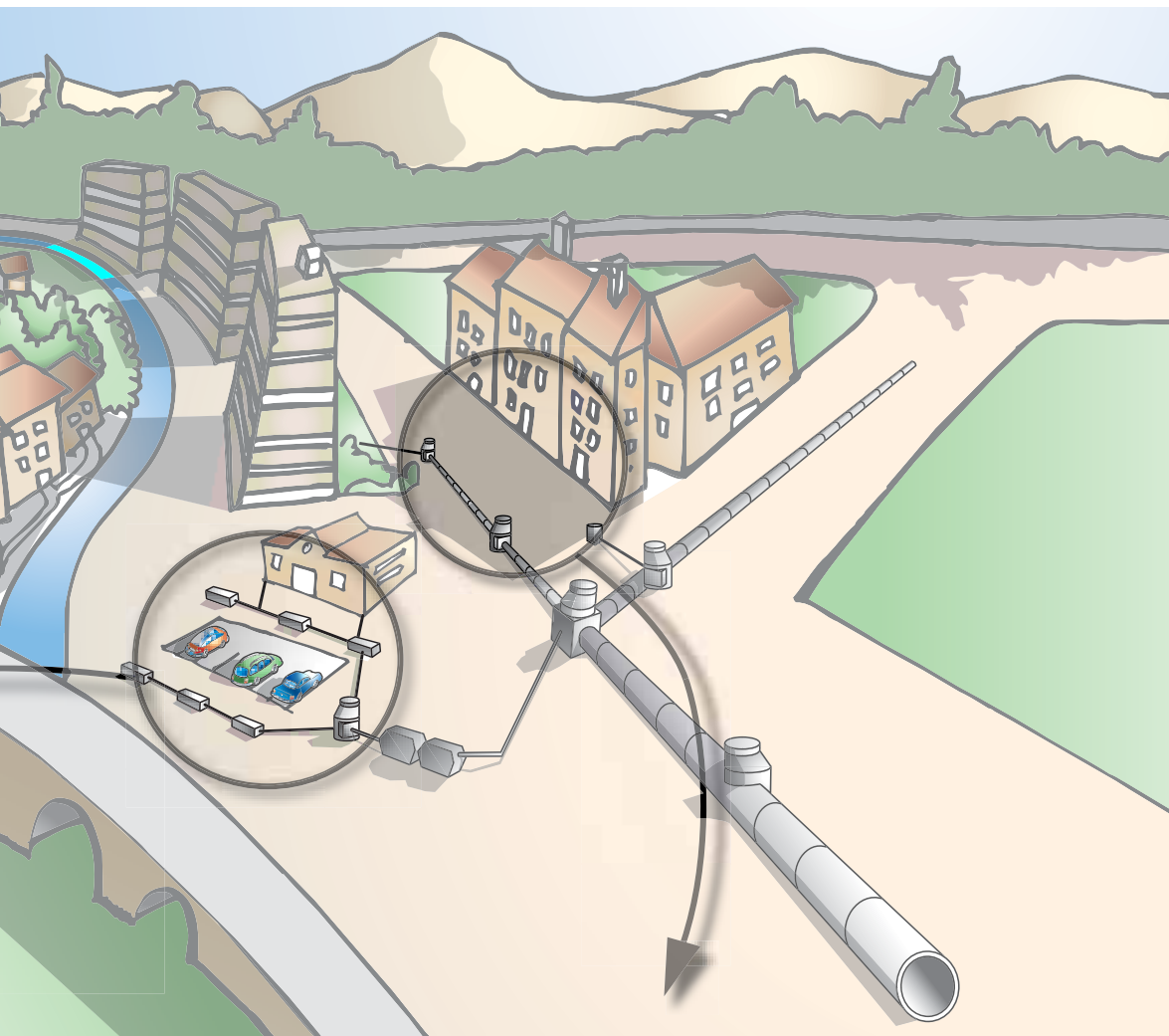


Figure 13: zoom sur la rue

5.2 - Bouches avaloirs

Ces éléments sont destinés à collecter les eaux pluviales et peuvent être munis ou non de systèmes de décantation.

5.3 - Tuyaux

Les tuyaux en béton sont destinés au transport des eaux pluviales. Ils sont conçus pour résister à l'action des charges extérieures qu'ils subissent (la plupart sont en effet enterrés et supportent le poids des terres ainsi que l'effet des charges de surface) et présenter une bonne étanchéité. Ils sont classés en séries d'après leur nature et leur résistance à l'écrasement. Pour les chaussées réservoirs, le diamètre couramment utilisé est 300 mm.

Les tuyaux présentent des caractéristiques conformes à la norme NF P 16-341. Cette norme définit notamment :

- les tolérances dimensionnelles ;
- la disposition des armatures (dans les tuyaux armés) ;
- l'épaisseur d'enrobage des armatures, le pourcentage et la nature des armatures.

Les tuyaux doivent demeurer étanches sous une pression de 0,1 MPa maintenue pendant 30 min. Conformément à la norme NF P 16-341, ils sont classés en fonction de leur résistance mécanique à un essai d'écrasement. Il est également prévu, pour les tuyaux en béton armé, un critère de résistance à la fissuration sous charge. Il existe une marque nationale de conformité à la norme NF P 16-341 (marque NF).

En matière de conception hydraulique des canalisations, il convient de se référer à la norme NF EN 752-4. En matière de conception mécanique, de réalisation et de réception, le texte de référence est le chapitre 3 du fascicule 70 du CCTG

« Ouvrages d'assainissement ». Des logiciels disponibles au CERIB facilitent l'application de ce chapitre 3. La mise en œuvre se fait conformément au fascicule 70 du CCTG.

5.4 - Regards et boîtes de branchement

Ces ouvrages verticaux, généralement en béton non armé, disposés sur les canalisations d'assainissement enterrées, sont destinés à permettre leur entretien. Les regards sont qualifiés de « visitables » lorsque leur diamètre intérieur est au moins égal à 1 m. Les boîtes de branchement de dimensions plus faibles sont circulaires ou carrées.

Les regards et boîtes de branchement sont conformes aux normes NF P 16-342 et NF P 16-343.

Ces normes définissent notamment :

- les tolérances dimensionnelles ;
- une spécification relative à leur étanchéité dans le cadre d'un essai en pression ;
- une spécification relative à leur résistance mécanique dans le cadre d'un essai de rupture.

Comme pour les tuyaux, ces produits sont couverts par une marque NF qui s'appuie directement sur les normes françaises précitées. La mise en œuvre doit être conforme au fascicule 70 du CCTG « Ouvrages d'assainissement ».

5.5 - Séparateurs de boues et liquides légers

Ces équipements sont destinés au traitement de certaines eaux pluviales et de ruissellement (exemple : parcs de stationnement, chaussées, aires aéroportuaires, etc.). Il existe pour les séparateurs de liquides légers deux classes de performance. Ils sont classés en fonction du débit traité (taille nominale). Par convention, la taille nominale (TN) est un nombre arrondi, égal à la valeur numérique du débit maximal admissible de l'effluent, exprimée en litres par seconde. Les normes NF EN 858-1 et NF EN 858-2, concernant ces équipements, fixent notamment les conditions de dimensionnement et de maintenance de ces dispositifs.

En matière de conception hydraulique et de mise en œuvre, des outils existent :

- détermination de la taille nominale, installation, exploitation (guide édité par la FIB [Fédération de l'industrie du béton]) ;
- logiciel de dimensionnement hydraulique développé par le CERIB.

Ces outils permettent notamment de déterminer la taille nominale des séparateurs en fonction de la nature et de la quantité des effluents à traiter, en fonction du site (parking, chaussée, aire aéroportuaire) et en fonction de la qualité exigée de l'effluent après traitement.

6 - Autres matériaux pour structures poreuses

6.1 - Les structures alvéolaires ultra légères: SAUL

Nous citons deux matériaux qui ont déjà été utilisés dans la réalisation de structures réservoirs :

- Le **Nidaplast**, matériau en polypropylène extrudé dont les alvéoles ont une structure en nid d'abeilles. Le Nidaplast H20PP possède des alvéoles de 20 mm, et il existe un autre produit avec des alvéoles de 8 mm. Son module initial est de 30 à 35 MPa. Sa résistance en compression simple (norme NF T 56-101) est de 0,4 MPa et de 0,02 MPa en compression latérale. La porosité utile est de 95 % environ.

- Le **Geolight**, matériau fabriqué par thermoformage à partir de films de polypropylène de PVC ou d'ABS. Sa structure est en nid d'abeilles, l'épaisseur des films utilisés pour sa fabrication peut être adaptée à la demande, ce qui permet d'en modifier les caractéristiques mécaniques. Celles-ci sont voisines de celles du Nidaplast, exception faite de la compression latérale qui atteint 0,03 MPa. La porosité utile est de 90 % environ.

Les structures des chaussées souples ou bitumineuses ne peuvent pas être construites directement sur les SAUL ; il est nécessaire de mettre en œuvre des couches de forme en GNT ou GNTP de 25 cm, pour obtenir un module à la plaque de 20 MPa (PF1), ou de 55 cm pour un module de 50 MPa (PF2). Les chaussées en béton ne nécessitant pas de compactage pour leur mise en œuvre, et ce type de structure ayant la propriété de répartir les charges, l'épaisseur de ces couches de forme peut être ramenée à 8 ou 10 cm. Leur rôle, dans ce cas, est d'éviter la transmission des efforts horizontaux à la surface des SAUL.

6.2 - Les chambres haute capacité (CHC)

Elles se présentent le plus souvent sous la forme de coques demi-cylindriques en matière plastique, perforées latéralement et munies d'orifices d'accès pour inspection du système et nettoyage des sédiments décantés. Elles sont posées soit directement sur la plate-forme si la perméabilité des sols permet une infiltration, soit sur une membrane étanche pour une évacuation régulée dans les réseaux d'assainissement. Elles sont recouvertes d'une couche de GNT poreuse d/D dont l'épaisseur est fonction de la nature de la couche de base et du trafic. Leur capacité de stockage peut atteindre 400 l/m². Les chambres haute capacité et leurs applications font l'objet d'un avis technique du CSTB.

7 - Matériaux pour construction

7.1 - Géotextiles

Les géotextiles sont des produits textiles adaptés au génie civil qui se présentent généralement sous forme de nappes de fibres synthétiques, perméables, souples et résistantes. On distingue plusieurs familles de géotextiles en fonction de leur mode de fabrication :

- Les non-tissés : ils sont constitués de fibres ou de filaments répartis de manière aléatoire et dont la cohésion est assurée par un traitement de liaison chimique, thermique ou mécanique ;
- Les tissés : ils sont constitués d'un entrecroisement de nappes de fils, de filaments ou de bandelettes. En règle générale, les tissés sont des produits obtenus par l'entrecroisement à angle droit de deux ou plusieurs systèmes de fils, fibres, filaments, bandelettes, ou d'autres éléments ;
- Les tricotés sont composés de fibres d'armature longitudinales déposées de manière perpendiculaire sur des fibres d'armature transversales. Celles-ci sont liaisonnées par un fil de couture aux points d'intersection.

Les polymères les plus couramment utilisés pour la confection des géotextiles sont le polyester, le polypropylène, le polyéthylène, le polyamide et l'aramide. Les caractéristiques des géotextiles dépendront de la nature des fibres, fils, filaments, ou bandelettes, du type de polymère, de la forme des constituants et de leur mode d'assemblage.

Les caractéristiques principales sont :

- résistance à la traction ;
- allongement à la rupture ;
- résistance au poinçonnement ;
- perforation dynamique ;

- perméabilité;
- ouverture de filtration.

Les géotextiles assurent les principales fonctions suivantes.

- Fonctions mécaniques :
 - séparation : rôle d'écran empêchant l'interpénétration de deux types de matériaux de nature différente tout en autorisant la libre circulation des fluides ;
 - renforcement : rôle d'amélioration des caractéristiques géotechniques des sols en augmentant leur résistance sous faible déformation ;
 - protection : rôle antipoinçonnement. Placé entre une géomembrane et le sol support ou la couche de protection, le géotextile absorbe les contraintes localisées et protège la géomembrane contre les perforations, lors de la réalisation du chantier et en cours d'exploitation de l'ouvrage ;
 - conteneur : certains géotextiles favorisent la tenue des terres sur pente et la végétalisation des talus en servant de support et de confinement à la couche végétale de protection.

- Fonctions hydrauliques :
 - filtration : les géotextiles filtrants empêchent le passage des particules fines tout en laissant passer l'eau. Ils permettent d'éviter l'obstruction du système de drainage en s'interposant entre celui-ci et les matériaux voisins ;
 - drainage : ces produits se présentent sous forme de nappes ayant la particularité de véhiculer un débit dans leur plan. Leur épaisseur varie de quelques millimètres à quelques centimètres. Leur capacité drainante est caractérisée par la « transmissivité » (produit de la perméabilité hydraulique dans le plan du produit par son épaisseur), qui peut varier sous charge de 1×10^{-5} à $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Certains géotextiles assurent simultanément le rôle de filtre et de drain. Les fonctions devant être assurées par le géotextile dépendent de sa position dans la structure réservoir.

Ces fonctions sont récapitulées dans le tableau 7.

Tableau 7 : fonction du géotextile selon sa position dans la structure

<i>Position</i> \ <i>Fonction</i>	<i>Séparation</i>	<i>Protection</i>	<i>Filtration</i>
<i>Entre sol et couches d'assise</i>	X		X
<i>Entre couches d'assise et lit de pose des pavés et des dalles</i>	X		X
<i>Au niveau de la géomembrane</i>		X	

À titre d'exemple, il est recommandé de respecter au moins les caractéristiques suivantes pour les trois types de géotextiles utilisés pour la confection des structures réservoirs.

■ 7.1.1 - *Géotextile filtrant*

Il sera constitué d'une grille de filtration en monofilament de polyéthylène présentant une ouverture de maille de 450 à 500 microns.

- Résistance à la traction ≥ 30 kN/m (selon norme NF EN ISO 10319) ;
- Allongement à la rupture ≤ 25 % (selon norme NF EN ISO 10319).

■ 7.1.2 - *Géotextile de séparation*

Il sera constitué d'un tissé de polypropylène.

- Résistance à la traction ≥ 25 kN/m, selon norme NF EN ISO 10319.
- Allongement à la rupture ≤ 20 %, selon norme NF EN ISO 10319.
- Perforation dynamique ≤ 16 mm, selon norme NF EN ISO 13433.
- Permittivité: $0,1 \text{ s}^{-1}$, selon norme NF G 38016.

■ 7.1.3 - *Géotextile de protection*

Il sera constitué d'un non-tissé de polypropylène.

- Résistance au poinçonnement ≥ 3 kN, selon norme NF EN ISO 12236.
- Résistance à la traction ≥ 12 kN/m, selon norme NF EN ISO 10319
- Allongement à la rupture ≥ 80 %, selon norme NF EN ISO 10319.
- Masse surfacique ≥ 700 g/m².

7.2 - Géomembranes

Les géomembranes sont utilisées pour imperméabiliser le sol support dans le cas où les eaux stockées dans la structure réservoir sont renvoyées dans le réseau d'assainissement. Une géomembrane est un produit adapté au génie civil : mince (généralement 1 à 5 mm), souple, continu, étanche aux liquides même sous les sollicitations en service. La géomembrane est la structure assurant l'étanchéité

d'un ouvrage hydraulique au sein du dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG). Le DEG est constitué de trois structures, conformément au schéma présenté dans la figure 14 :

- structure support ;
- structure d'étanchéité ;
- structure de protection.

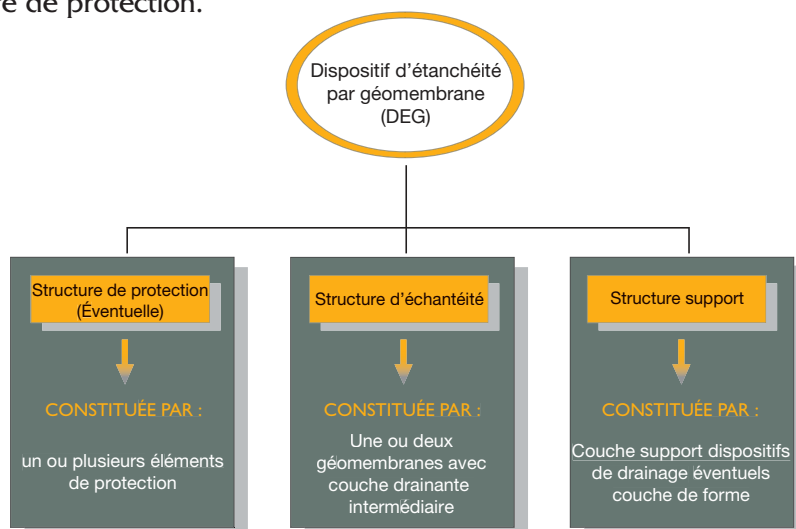


Figure 14 : schéma donnant la constitution d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane.

Les matériaux de base constituant les géomembranes sont soit des matériaux bitumineux (bitumes soufflés ou bitumes modifiés par ajout de polymères), soit des matériaux de synthèse (PVC, PEHD, EPDM...). En général, les géomembranes sont manufacturées en rouleaux de grandes dimensions (largeur 2 à 10 m, longueur 20 à 200 m selon la nature de la géomembrane). Leur épaisseur varie de 1 à 5 mm. La continuité de l'étanchéité est assurée par l'assemblage de chaque lès de géomembrane par soudure au chalumeau, ou encore par soudure thermique ou chimique selon le type de géomembrane.

À titre d'exemple, une géomembrane présentant les caractéristiques suivantes pourra être utilisée pour la confection des structures réservoirs.

Géomembrane à base de bitume élastomère SBS armée d'un géotextile polyester non tissé :

- épaisseur 3 ou 4 mm
- résistance à la rupture > 10 daN/cm.

Nota

l'imperméabilisation du sol support peut également être assurée par la mise en œuvre d'un enduit bitumineux superficiel bicouche.

7.3 - Drains

Les tuyaux de drainage peuvent être en béton, en PEHD ou en PVC. Ils se présentent sous forme de tubes munis de trous ou de fentes transversales ou longitudinales. Ils se caractérisent par la répartition de leur fente, par leur diamètre et par leur longueur. Les tuyaux en béton présentent l'avantage d'offrir des résistances mécaniques importantes, et en particulier à l'écrasement, ce qui les rend tout à fait adaptés aux techniques routières. Leur utilisation est soumise aux prescriptions du fascicule 70 du CCTG.

On distingue deux grands types de drains :

- drains avec cunette en partie inférieure ;
- drains sans cunette.

Le choix du type de drains sera fonction de son utilisation dans l'ouvrage. Le diamètre des drains sera au minimum de 150 mm.

Les drains permettent :

- soit la collecte et la diffusion des eaux de ruissellement dans la structure réservoir ; dans ce cas, ils sont positionnés en partie supérieure de la chaussée et ils alimentent un regard à l'amont de la structure réservoir. On choisira de préférence des drains sans cunette, qui permettront une diffusion efficace de l'eau en évitant toute stagnation ;
- soit l'évacuation des eaux de ruissellement stockées dans la structure vers le réseau public ou le milieu naturel ; dans ce cas, ils sont positionnés en partie inférieure de la structure réservoir et ils alimentent un regard à l'aval de la structure réservoir. On utilisera de préférence des drains avec cunette, qui permettront une meilleure restitution de l'eau vers l'exutoire.

8 - Procédure pour les commandes de BPE

Les bétons « routiers » entrent dans le champ d'application de la norme NF EN 206-1 car leur densité est supérieure à 2 t/m³. Ils devront être prescrits en classe d'exposition XF2 ou XF4, ce qui implique :

- un dosage en liant minimal et/ou une résistance caractéristique minimale à 28 jours ;
- un rapport eau efficace/liant limité ;
- une teneur en air occlus du béton frais comprise entre 4 et 6 % avec obligation d'utiliser un agent entraîneur d'air.

Trois cas peuvent se présenter.

8.1- Les BPS (bétons à propriétés spécifiées)

Il s'agit de bétons pour lequel les propriétés requises et les caractéristiques supplémentaires sont spécifiées au producteur qui est responsable de fournir un béton satisfaisant à ces exigences. Les spécifications de base sont les suivantes :

- la conformité à la norme NF EN 206-1 ;
- la classe de résistance à la compression ;
- la classe d'exposition ;
- la classe de consistance ;
- la dimension nominale maximale des granulats ;
- la classe de teneur en chlorures.

Des caractéristiques complémentaires (type de ciment...) peuvent, le cas échéant, être demandées en plus des spécifications de base, avec des niveaux de performances contrôlées suivant des méthodes d'essais définies.

Exemples de béton à propriétés spécifiées :

BPS	NF EN 206-1	C35/45	XF2(F)	S2	Dmax 14	CL1,0
BPS	NF EN 206-1	C25/30	XF2(F)	S2	Dmax 20	CL 1,0.

Les BPS sont les bétons traditionnellement fabriqués et commercialisés par les centrales de BPE.

8.2- Les BCP (bétons à composition prescrite)

Il s'agit de béton pour lequel la composition et les constituants à utiliser sont spécifiés au producteur par le prescripteur.

Le prescripteur a la responsabilité de s'assurer que les prescriptions sont conformes aux exigences de la norme NF EN 206-1 et que la composition prescrite est capable d'atteindre les performances attendues pour le béton. Le producteur est responsable de fournir un béton respectant cette composition prescrite. Les contrôles sur les performances atteintes ne sont pas de la responsabilité du producteur : ils incombent au prescripteur ou à l'utilisateur.

8.3- Les BCP dans une norme (bétons à composition prescrite dans une norme)

Ce type de béton est réservé à certains ouvrages simples de bâtiment : ce sont généralement les bétons fabriqués à la bétonnière sur le chantier.

En France, la norme NF P 18-201 (DTU 21) définit des bétons à composition prescrite destinés à des ouvrages simples (catégorie A du DTU 21 : R+2 comportant au plus un seul niveau de sous-sol).

Ces bétons sont, au maximum, de la classe de résistance C16/20, pouvant être portée à C20/25 en cas de contrôle de la production.

Tableau 8 : exemple de composition pour 1 m³ de béton routier

CEM I	350 kg
Gravillon 6/10	1,350 kg
Sable 0/4	620 kg
Eau	110 à 180 l
Plastifiant	0,5 kg
Entraîneur d'air	0,210 kg

8.4 - Données de base à fournir par l'entreprise au BPE

En complément des éléments habituels du chantier :

- date du démarrage ;
- durée ;
- adresse précise ;
- cadences journalières prévisibles ;
- planning.

L'entreprise précise :

- le mode de livraison (camion malaxeur ou benne) ;
- l'enlèvement sous centrale BPE avec son propre matériel ;
- le délai de réouverture à la circulation (exemple : 2 jours).

À travers l'extrait du cahier des charges, les caractéristiques complémentaires telles que la porosité, la résistance, le type de granulat et sa couleur, la nature et la classe du ciment...

8.5 - Données de base du BPE à communiquer à l'entreprise

Le béton « drainant » ou « poreux » est défini de préférence par une fiche technique. Cette fiche précise :

- la destination, « drainant » ou « poreux » ;
- la nature, la classe et le dosage en ciment ;

- la granularité et le certificat de non-géllivité des granulats ;
- la résistance à la compression aux échéances souhaitées par le client ;
- la résistance en traction par fendage/essai brésilien mesurée sur éprouvettes 16 x 32 cm ;
- la porosité ouverte (voir la norme NF P 98-170) exprimée en pourcentage.

8.6 - Adjuvants

Les adjuvants utilisés (entraîneur d'air, superplastifiant, réducteur d'eau plastifiant...) seront réputés compatibles entre eux par engagement écrit du fournisseur d'adjuvants.

8.7- Dossier technique

Avant démarrage des travaux, le BPE transmet le dossier technique du béton. Ce dossier comprend :

- la composition ;
- la provenance des constituants ;
- les caractéristiques de la centrale principale et éventuellement de la centrale de dépannage.

Tout béton n'ayant pas fait l'objet d'une étude ou d'une référence sur chantier sera soumis à une épreuve de convenance.



Chapitre

5

Les dimensionnements

- 1 - Dimensionnement hydraulique**
- 2 - Dimensionnement mécanique**
- 3 - Dimensionnement géométrique**
- 4 - Approche d'un projet de chaussée à structure réservoir**

1 - Dimensionnement hydraulique

Une chaussée-réservoir est assimilable à un bassin de retenue d'eaux pluviales : son dimensionnement hydraulique revient donc au calcul du volume utile de la retenue. Ce calcul est basé sur un bilan hydraulique :
 $\text{stockage} = \Sigma \text{entrées} - \Sigma \text{sorties}$.

Les entrées sont, dans le cas d'une chaussée-réservoir :

- les écoulements arrivant dans l'ouvrage par ruissellement ;
- les précipitations sur la chaussée ;
- les éventuelles entrées d'eau de nappe (fond, fossés...).

Les sorties sont essentiellement :

- le débit de fuite de la retenue ;
- les infiltrations dans le sol.

Le document CERTU « La ville et son assainissement : principe, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau », édité en 2003, propose deux méthodes de dimensionnement hydraulique, dont la méthode des volumes. Cette méthode, dont l'utilisation pratique est explicitée ci-après, est utilisable dans les cas simples les plus courants.

1.1 - Notions de base hydraulique

La méthode fait appel à plusieurs notions qu'il convient ici de préciser.

■ 1.1.1 - La période de retour T de la pluie

Cette période traduit le degré de protection contre les inondations à assurer. Ce degré de protection résulte d'un compromis entre l'aspiration à une protection

absolue, irréalisable, et le souci de limiter le coût de l'investissement et les contraintes d'exploitation. Sa valeur est fixée par la collectivité publique. En milieu urbain, où la vulnérabilité est forte (risques humains, commerciaux...), on retient couramment $T = 10$ ans, voire davantage. Cette valeur peut être plus faible pour des bassins versants moins vulnérables. Il est toutefois nécessaire d'examiner les conséquences pour l'aval en cas d'événement dépassant l'hypothèse retenue ; il s'agit alors des conséquences en termes d'aménagements possibles, et non de dimensionnement.

■ 1.1.2 - La région

L'évaluation du volume d'eau à stocker dépend de la pluviométrie sur le site du projet. Ce dernier devra être repéré dans l'une des trois régions de pluviométrie homogène identifiées dans le document CERTU.

■ 1.1.3 - Le coefficient d'apport (C_a) du bassin versant

Ce coefficient tient compte de toutes les surfaces qui génèrent du ruissellement, et pas seulement celles qui sont imperméabilisées (la structure réservoir d'une chaussée peut notamment être sollicitée par les accotements).

Pour une chaussée ou une couverture de bâtiment, on prendra : $C_a = 1$.

Pour un espace vert ou un accotement, et plus généralement pour toute surface non perméable, on prendra : $C_a = 0,30$, valeur apparemment élevée mais courante pour des précipitations importantes.

Le coefficient d'apport, rapport du volume précipité au volume arrivant à l'exutoire, traduit le rendement global de la pluie sur le bassin versant considéré.

■ 1.1.4 - Le débit de fuite (Q)

Il correspond soit au débit admissible d'évacuation à l'aval de la structure dans le cas d'une évacuation localisée par les réseaux d'assainissement, soit à la capacité d'infiltration dans les sols dans le cas d'une évacuation répartie.

Dans le premier cas, il est imposé réglementairement (plan d'occupation des sols, police des eaux), ou bien il dépend de la capacité d'accueil de l'exutoire.

Dans le second cas, il dépend du coefficient de perméabilité verticale du sol support. Il se calcule par application de la loi de Darcy : $Q_i = K.S.i$

où :

K = coefficient de perméabilité du sol en m/s mesuré *in situ*, sur lequel on applique, suivant l'hétérogénéité des terrains, un coefficient de sécurité de 1 à 5 ;

S_i = surface d'infiltration ;

i = gradient hydraulique pris égal à 1, la zone d'infiltration étant considérée comme non saturée.

La perméabilité du sol est considérée comme suffisante si :

$$10^{-7} \text{ m/s} < K < 10^{-3} \text{ m/s}$$

mais pour $10^{-7} \text{ m/s} < K < 10^{-5} \text{ m/s}$, il sera souvent nécessaire d'envisager un complément à l'infiltration.

La figure 15 donne des valeurs de perméabilité K pour différents sols :

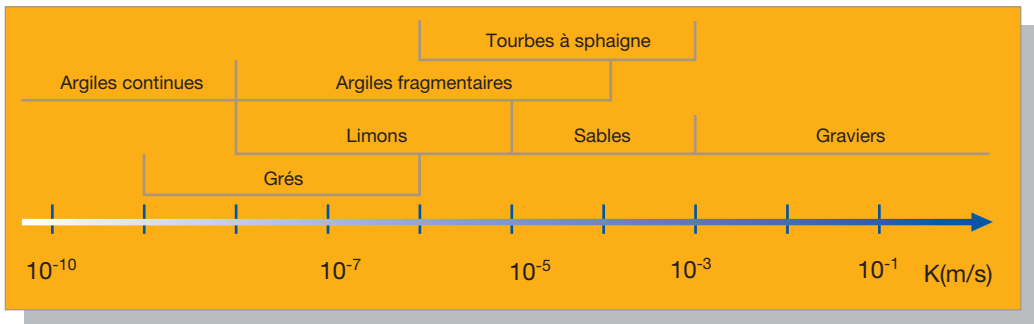


Figure 15 : valeurs de perméabilité pour différents sols.

Pour une chaussée-réservoir, on considère, en première approche, que le débit de fuite est constant au cours des épisodes pluvieux. En cas d'infiltration impossible, on peut également utiliser des drains vers un épandage superficiel. Le calcul s'effectue selon la norme NF P 16-351 (formule de Strickler).

La pente minimale d'un drain pour assurer la vidange est de 2 à 3 mm/m. Le diamètre nominal sera de 150 mm au minimum pour faciliter l'entretien et empêcher le colmatage. Pour éviter qu'ils ne se déchargent, les drains doivent fonctionner en charge (alimentation) et en décharge (évacuation, vidange).

1.2 - Procédure de calcul du volume à stocker

■ 1.2.1 - Documents nécessaires

- Carte des régions (zones) pluviométriques : figure 16 ;
 - Abaque donnant les capacités de stockage nécessaires (hauteur de la lame d'eau) en fonction des débits de fuite spécifiques pour chaque région pluviométrique et pour chaque période de retour de la pluie : figure 17.
- Ces figures 16 et 17 sont extraites du document CERTU.

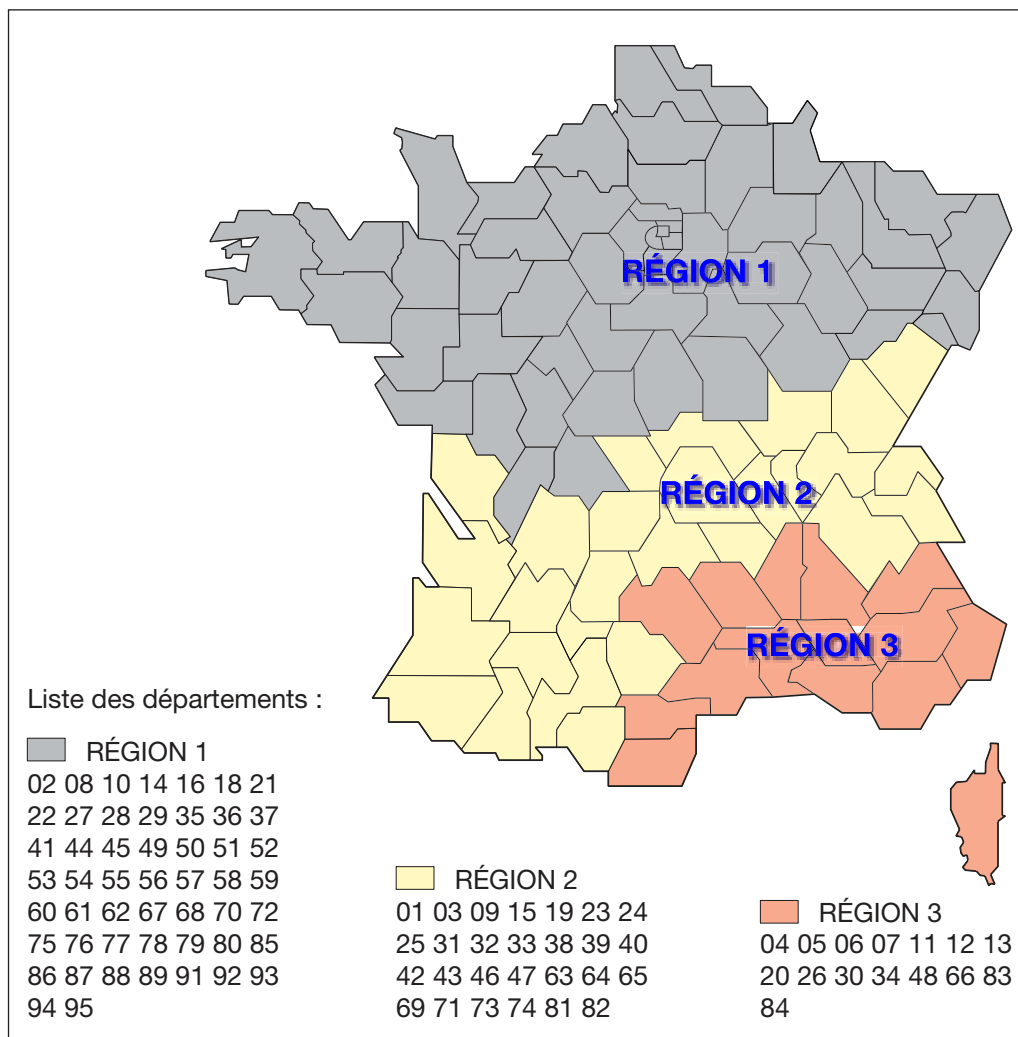


Figure 16 : la France en trois zones de pluviométries homogènes.

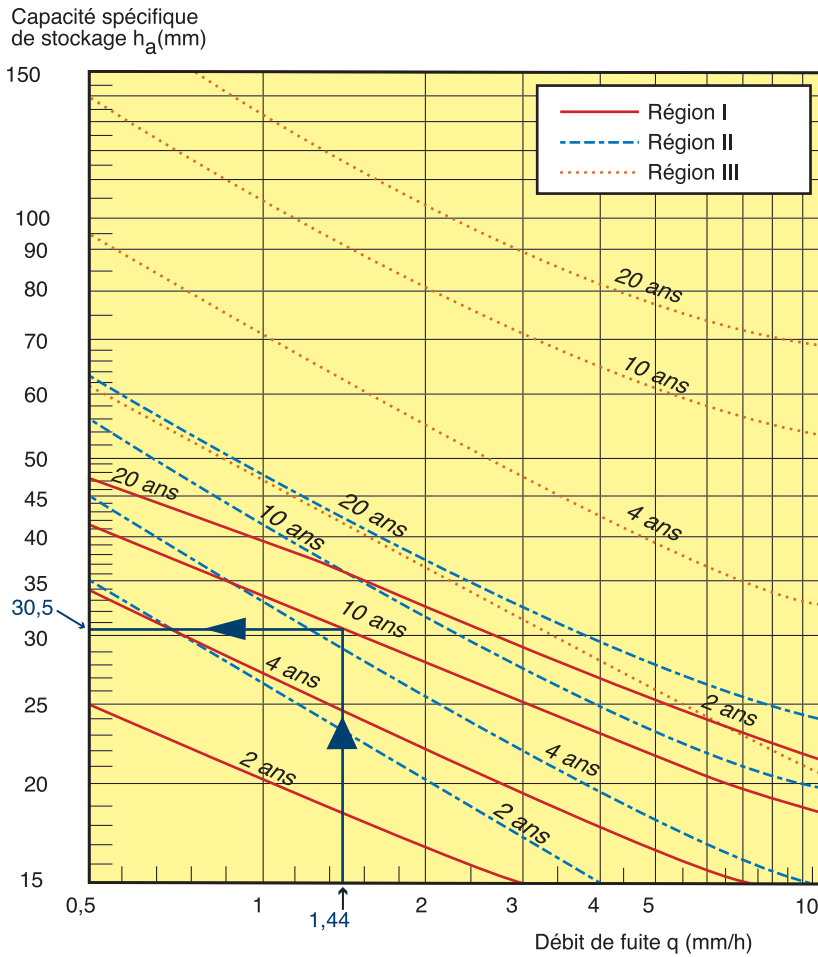


Figure 17 : abaque donnant la capacité spécifique de stockage d'un bassin de retenue en fonction du débit de fuite (extrait du document CERTU)

■ 1.2.2 - Hypothèses et données du projet

- Région (zone) pluviométrique I, II ou III lue sur figure 16 ;
- Niveau de protection souhaité (période de retour de la pluie) 2, 4, 10, 20 ans ou plus ;
- Surfaces unitaires composant le bassin versant ;
- Débit de fuite Q en m^3/s .

■ 1.2.3 - Déroulement du calcul

• Calcul de la surface active S_a :

$$S_a = S_1 \times Ca_1 + S_2 \times Ca_2 + S_3 \times Ca_3 + \dots + S_n \times Ca_n$$

avec :

S_{n_i} : surfaces unitaires composant le bassin versant ;

et Ca_i : coefficient d'apport propre à chaque surface unitaire.

• Calcul du débit de fuite spécifique q :

$$q \text{ (m/s)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/s)}}{S_a \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$q \text{ (mm/h)} = \frac{3\,600 \times Q \text{ (m}^3\text{/s)} \times 10^{-3}}{S_a \text{ (m}^2\text{)}} \quad \text{ou} \quad q \text{ (m/h)} = \frac{3\,600 \times Q \text{ (m}^3\text{/s)}}{S_a \text{ (m}^2\text{)}}$$

• Lecture sur l'abaque de la capacité de stockage ha en mm ;

• Calcul du volume à stocker V :

$$V \text{ (m}^3\text{)} = S_a \text{ (m}^2\text{)} \times ha \text{ (m)} = S_a \text{ (m}^2\text{)} \times ha \text{ (mm)} \times 10^{-3}$$

Exemple 1

Soit un espace commercial en Ile-de-France comportant :

• 10 ha de parkings et voiries ($C_a = 1$) ;

• 5 ha de bâtiments ($C_a = 1$) ;

• 5 ha d'accotements et espaces verts ($C_a = 0,3$).

Le degré de protection recherché sera de 10 ans.

Le débit de fuite sera de : 0,06 m³/s.

• L'Ile-de-France est en région 1 (figure 16).

• La surface active $S_a = (10 \times 1) + (5 \times 1) + (5 \times 0,3) = 16,5$ ha (= 165 000 m²).

• Le débit de fuite spécifique

$$q = \frac{(3\,600 \times 0,06)}{165\,000} = 0,00131 \text{ m/h} = 1,31 \text{ mm/h.}$$

• La capacité de stockage (hauteur de la lame d'eau) lue sur l'abaque (figure 17) pour la région 1, niveau de protection 10 ans et $q = 1,31$ mm/h, est :

$$ha = 31,5 \text{ mm} = 0,0315 \text{ m.}$$

Le volume à stocker est donc : $V = 165\,000 \times 0,0315 \approx 5\,200$ m³

Par sécurité, on retiendra 6 000 m³ pour s'affranchir d'éventuels problèmes de matériau ou de mise en œuvre.

■ 1.2.4 - Cas des périodes de retour supérieures à 20 ans

L'abaque ne permet pas le calcul pour : $T > 20$ ans.

Pour les débits de fuite spécifiques à 50 et 100 ans, le document CERTU permet les approximations suivantes :

$$\bullet q_{50} \approx 1,6 q_{10}$$

$$\bullet q_{100} \approx 2 q_{10}$$

De même, on pourra calculer les volumes à stocker avec l'approche suivante :

$$\text{pour } T = 100 \text{ ans, } V_{100} \approx 1,6 \text{ à } 2,0 V_{10}$$

■ 1.2.5 - Cas d'une structure sur terrain en pente

La pente du terrain peut réduire considérablement la capacité de stockage d'une structure réservoir. Le chapitre ci-après sur le dimensionnement géométrique montre comment s'adapter à la topographie et, par exemple, limiter cet effet négatif de la pente par l'interposition de cloisons étanches. Dans ce cas, le volume à stocker est la somme des volumes entre cloisons, pondérés par la valeur de la pente.

1.3 - Calcul hydraulique de la structure

Si la surface horizontale de la structure poreuse est A (en général il s'agit de la voirie), son épaisseur sera :

$$H = \frac{V}{(A \times n)}$$

avec :

H = épaisseur (en mètres) de la structure poreuse ;

V = volume (en mètres cubes) à stocker ;

A = surface (en mètres carrés) de la structure poreuse ;

n = porosité du matériau réservoir.

Exemple 2

La structure réservoir de l'exemple précédent est constituée de béton poreux, à 20 % de porosité utile, mis en œuvre sous les parkings et la voirie.

Surface de la structure poreuse : A = 10 ha = 100 000 m²

Porosité : n = 20 % = 0,20

$$H = \frac{6\,000}{(100\,000 \times 0,20)} = 0,30 \text{ m}$$

Exemple 3

Réfection d'une voirie de centre urbain à Paris, Lyon ou Marseille, en utilisant une structure en béton poreux. Les données sont les suivantes :

Surface de la voirie : 5 000 m².

Porosité utile du béton poreux : 20 %.

Niveau de protection souhaité : 2 ans, à comparer avec la protection décennale.
 Débit de fuite Q : envisager trois possibilités : 0,002 m³/s, 0,005 m³/s et 0,010 m³/s.
 Surface active : la structure réservoir reçoit seulement les précipitations sur la chaussée.

• (Ca = 1) surface active et surface totale sont donc ici confondues :
 Sa = St = 5 000 m².

• Débit de fuite spécifique q :

- pour Q = 0,002 m³/s, on a : $q = (0,002 \times 3\,600) / 5\,000 = 0,001\,44$ m/h ;
- pour Q = 0,005 m³/s, on a : $q = (0,005 \times 3\,600) / 5\,000 = 0,003\,60$ m/h ;
- pour Q = 0,01 m³/s, on a : $q = (0,010 \times 3\,600) / 5\,000 = 0,007\,20$ m/h.

Les différentes valeurs de h_a s'obtiennent par lecture sur l'abaque (figure 17) en fonction des régions (I – Paris, II – Lyon, ou III – Marseille), des différentes valeurs de T (2 ou 10 ans) et des débits de fuite spécifiques précédemment calculés (1,44, 3,6 ou 7,2 mm/h).

Les différentes valeurs de V s'obtiennent par : $V = h_a \times 5\,000 \times 10^{-3}$

Hauteur de la structure poreuse : $H = V/Sa$

Le tableau 9 donne le dimensionnement hydraulique de la structure en béton poreux horizontale pour des niveaux de protection à 2 et 10 ans, et les trois valeurs de débit de fuite Q imposées.

Tableau 9 : résultats des calculs de dimensionnement hydraulique d'une structure en béton poreux						
Villes (zones)	H (cm)					
	Protection à 2 ans			Protection décennale		
	Q = 2 l/s	Q = 5 l/s	Q = 10 l/s	Q = 2 l/s	Q = 5 l/s	Q = 10 l/s
Paris (I)	10	7	6	16	13	11
Lyon (II)	12	8	6	19	14	11
Marseille (III)	21	15	12	45	34	29

Compte tenu des caractéristiques mécaniques des bétons drainants ou poreux, le tableau montre l'intérêt de ce matériau en milieu urbain pour la réhabilitation des voiries sur de faibles épaisseurs. Pour une épaisseur inférieure à 17 cm en une couche, le béton drainant peut concilier à la fois les fonctions « roulement », hydraulique et esthétique. En outre, le béton poreux recouvert de béton drainant ou de pavés perméables constitue une solution esthétique intéressante de chaussée à structure réservoir.

2 - Dimensionnement mécanique

2.1 - Méthodologie de dimensionnement

On appelle méthode de dimensionnement d'une structure de chaussée la procédure de calcul destinée à déterminer l'épaisseur des couches de chaussée nécessaire et suffisante à l'accueil du trafic attendu pour la durée de service prévue. Elle se caractérise par :

- l'association à chaque type de matériau d'une loi de comportement ;
- l'inventaire des mécanismes de rupture présumés de chaque type de matériau ;
- la définition du niveau de dégradation à partir duquel une chaussée est déclarée hors service.

La synthèse de ces trois composantes conduit à la formulation de critères de dimensionnement dont le respect assure à la structure de chaussée sa capacité à supporter le trafic attendu. Les critères de dimensionnement mécanique des chaussées rigides et (ou) à revêtements modulaires sont les suivants :

- fatigue structurelle du béton de ciment ;
- déformation permanente de la surface du sol support ;
- tassement différentiel du support au droit des joints du béton.

Ces quelques principes de base sont concrétisés dans la logique de dimensionnement suivante :

- choix d'un type de structure de chaussée en fonction de critères qualitatifs, hydrauliques, géométriques, économiques, etc. ;
- définition du type de voie en fonction du trafic attendu (classe de trafic), de son agressivité, de la durée de service et du risque de calcul ;
- détermination de la classe de plate-forme ;
- choix des matériaux constitutifs de la structure (classes de matériaux) ;
- détermination d'épaisseurs précalculées dans des fiches de structures types.

Remarque

Dans le cas de chaussées et aires de déplacement ou stationnement à très faible trafic, la contribution expérimentale voire empirique de la logique de dimensionnement peut devenir prépondérante dans la démarche de définition des épaisseurs d'assise de chaussée.

2.2 - Structures types de chaussées-réservoirs

Sans prétendre à l'exhaustivité, les structures de chaussée types en béton de ciment à fonction réservoir pour site urbain retenues dans le présent guide sont :

- béton drainant/grave non traitée poreuse ;
- béton dense/grave non traitée poreuse ;
- béton dense/béton poreux ;
- pavé béton dense ou perméable/béton poreux ;
- pavé béton dense ou perméable/grave non traitée poreuse.

2.3 - Sollicitations - classes de trafic

En milieu urbain, on distingue usuellement les typologies de voies suivantes (tableau 10).

Tableau 10 : typologie des voies urbaines	
Type d'application	Hypothèse de calcul : nombre de poids lourds (véhicules PTAC ≥ 3,5 t) par jour sur la voie la plus chargée*
Aire hors circulation : terrasse, contour de piscine	0
Parking véhicules légers (VL)	< 5 PL/j
Rue piétonne – voie de desserte – voie de lotissement	5 à 50 PL/j
Voie de distribution locale ou à trafic local	50 à 150 PL/j
Voie de distribution principale ou à trafic principal	150 à 300 PL/j
Voie de desserte de zone industrielle et voie de transports en commun chargée	300 à 750 PL/j

* À valider nécessairement par le projeteur en recourant à la norme sur le trafic (NF P 98-082).

Avec le nombre de poids lourds, l'agressivité du trafic doit aussi être prise en compte. En référence aux spécificités des voiries urbaines, qui se caractérisent par une agressivité du trafic poids lourds moins importante que dans le cas des routes de rase campagne, les valeurs d'agressivité ont été choisies à 0,5 pour les catégories de voies et aires diverses à trafic inférieur ou égal à 150 PL/j, et à 0,8 pour les trafics supérieurs.

2.4 - Supports - classes de plates-formes

Dans le cas le plus général, la détermination de la classe de portance PFi d'une plate-forme support de chaussée résulte d'une démarche méthodique en trois phases.

■ 2.4.1 - Détermination de la nature du sol en place

Détermination de la nature du sol en place et de son état hydrique au moment de la mise en œuvre et de son environnement hydraulique (possibilité d'alimentation en eau, drainage), qui définissent en termes de portance ce que l'on appelle l'arase de terrassement (AR_i). Il existe quatre niveaux d' AR_i (tableau 11).

Tableau 11 : classes de portance de l'arase				
Classe de portance de l'arase des terrassements	AR_1	AR_2	AR_3	AR_4
Module d'élasticité (MPa)	20	50	120	200

■ 2.4.2 - Amélioration éventuelle de la portance

Amélioration éventuelle de la portance de l' AR_i (indispensable si le module d'élasticité est inférieur à 20 MPa, et vivement conseillée lorsque le module d'élasticité ne dépasse pas 50 MPa) par apport d'une couche de forme et/ou d'un géotextile et/ou un traitement en place du sol aux liants hydrauliques.

■ 2.4.3 - Détermination d'une classe de portance à long terme

Détermination d'une classe de portance à long terme de la plate-forme PF_i résultant de l'amélioration ou non de l'arase de terrassement. On distingue les quatre mêmes niveaux de PF_i que dans l'exemple précédent (tableau 12).

Tableau 12 : classes de portance de la plate-forme				
Classe de portance à long terme de la plate-forme	PF_1	PF_2	PF_3	PF_4
Module d'élasticité (MPa)	20	50	120	200

Remarques

1. La classe de portance PF_1 n'est pas envisagée dans le présent guide, car l'expérience démontre qu'une plate-forme de faible portance est préjudiciable à la pérennité de l'ouvrage. Le point 2 prend donc ici toute son importance dans la démarche de conception.

2. Lorsque la plate-forme est jugée insuffisamment portante pour les raisons précitées, ou parce que l'on souhaite limiter l'épaisseur des corps de chaussée lorsque les dimensionnements hydrauliques le permettent, on peut en général se référer aux consignes d'action suivantes (tableau 13) :

Tableau 13 : amélioration de la portance de la plate-forme	
Gain de portance souhaité	Solutions techniques et épaisseurs
1 classe	Sol traité 20 cm Couche de forme 20 à 30 cm*
2 classes	Sol traité 35 cm Couche de forme 35 à 50 cm*

* Selon les matériaux effectivement utilisés.

En termes de dispositions constructives concernant les plates-formes support de structures réservoirs, deux cas extrêmes sont à considérer :

A. Sols sableux ou granulaires ou insensibles à l'eau (cf. tableau 14). Les eaux de pluie s'infiltrent naturellement dans la plate-forme. La granulométrie pauvre en fines ne laisse pas craindre une perte de portance en période humide. Aucune disposition constructive particulière ne s'impose.

B. Sols fins ou sensibles à l'eau (cf. tableau 14). Afin de prévenir toute chute de portance du sol lorsque la chaussée joue son rôle de structure réservoir, une couche d'imperméabilisation doit être interposée entre la chaussée et la plate-forme.

Entre ces deux extrêmes, les dispositions constructives peuvent être modulées lorsque le niveau des sollicitations est faible (trafic < 25 PL/j).

Tableau 14 : classification des sols selon le GTR	
Classification des sols selon le Guide pour les terrassements routiers (GTR)	
Sols sableux ou granulaires ou insensibles à l'eau	Sols fins ou sensibles à l'eau
B - C ₁ B ₁₁ - C ₁ B ₁₂ - C ₂ B ₁₁ - C ₂ B ₁₂ - C ₁ B ₃₁ - C ₁ B ₃₂ - C ₂ B ₃₁ C ₂ B ₃₂ - D - R ₄ - R ₅ - R ₆ - F ₁ - F ₃₁ - F ₄ - F ₆	A - C ₁ A ₁ - C ₁ A ₂ - C ₁ A ₃ - C ₁ A ₄ - C ₂ A ₂ - C ₂ A ₃ - C ₂ A ₄ C ₁ B ₂₁ - C ₁ B ₂₂ - C ₂ B ₂₁ - C ₂ B ₂₂ - C ₁ B ₄₁ - C ₁ B ₄₂ - C ₂ B ₄₁ C ₂ B ₄₂ - C ₁ B ₅₁ - C ₁ B ₅₂ - C ₂ B ₅₁ - C ₂ B ₅₂ - C ₁ B ₆ - C ₂ B ₆ - R ₁ R ₂ - R ₃ - F ₂ - F ₃₂ - F ₅

2.5 - Les fiches de structure

Tableau 15 : exemples de structures de chaussées réservoirs pour aires hors circulation (terrasses, contours de piscines, allées piétonnes...)*	
Forte capacité de stockage d'eau	
Capacité de stockage d'eau moyenne	

Tableau I 6 : exemples de structures de chaussées réservoirs pour parkings véhicules légers *

TRAFIC < 5PL · PLATE-FORME PF2 · DURÉE DE SERVICE 20 ANS · TAUX DE CROISSANCE DU TRAFIC LOURD 0 %

Capacité stockage \ Revêtement	Béton dense	Béton drainant	Pavé béton
Forte capacité de stockage d'eau			
Capacité de stockage d'eau moyenne		<p>Mise en œuvre en 2 couches pour obtenir un uni correct</p>	

*Configuration non exhaustives

■ Dalles (1)

■ Lit de pose géotextile

■ Grave non traité poreuse

■ Béton drainant

■ Pavés ou Dalles béton(1)


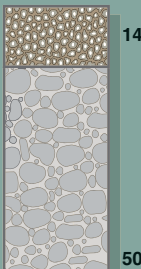
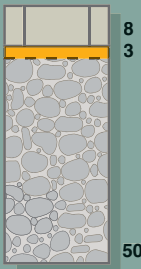

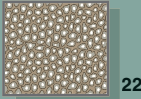

■ Béton poreux

■ Béton classe 5

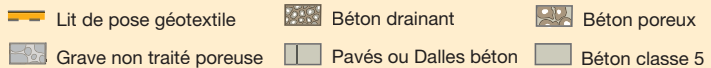
1. éléments modulaires en béton, dense, ou perméables, à joints ouverts ou non

Avertissements

- Les pavés sont posés avec un appareillage adapté,
- Dans le cas de plates-formes inférieures à PF2, se référer au tableau 14 page 87.
- Dans le cas de plates-formes supérieures à PF2 :
 - les épaisseurs des pavés ne sont pas modifiées ;
 - les épaisseurs de béton de revêtement sont réduites de 1 cm par classe de plate-forme ;
 - les épaisseurs de béton poreux sont réduites de 2 cm par classe de plate-forme.

Tableau 7 : exemples de structures de chaussées réservoirs pour voies de dessertes et voies de lotissement *			
TRAFFIC : À 50 PL/J • PLATE-FORME PF2 • DURÉE DE SERVICE 20 ANS • TAUX DE CROISSANCE DU TRAFIC Lourd 0 %			
Capacité stockage \ Revêtement	Béton dense	Béton drainant	Pavé béton
Forte capacité de stockage d'eau			
Capacité de stockage d'eau moyenne		 <p>Mise en œuvre en 2 couches pour obtenir un uni correct</p>	

* Configuration non exhaustives

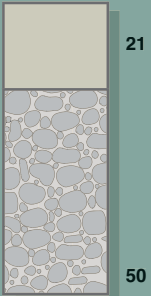
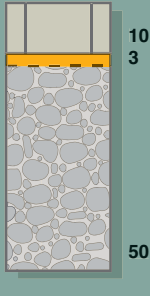
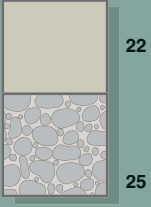
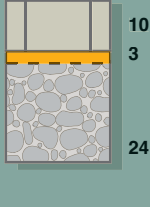


Avertissements

- Les pavés sont posés avec un appareillage adapté.
- Dans le cas de plates-formes inférieures à PF2, se référer au tableau 14 page 87.
- Dans le cas de plates-formes supérieures à PF2 :
 - les épaisseurs des pavés ne sont pas modifiées ;
 - les épaisseurs de béton de revêtement sont réduites de 1 cm par classe de plate-forme ;
 - les épaisseurs de béton poreux sont réduites de 2 cm par classe de plate-forme.

Tableau 18 : exemples de structures de chéées réservoirs pour voies de distribution locale ou à trafic local *

TRAFIC 50 À 150 PL/J • PLATE-FORME PF2 • DURÉE DE SERVICE 20 ANS • TAUX DE CROISSANCE DU TRAFIC Lourd 1 %

Capacité stockage \ Revêtement	Béton dense	Pavé béton
Forte capacité de stockage d'eau		
Capacité de stockage d'eau moyenne		

*Configuration non exhaustives



Grave non traité poreuse



Pavés ou Dalles béton



Béton classe 5



Lit de pose géotextile

Avertissements

- Les pavés sont de préférence autobloquants ou mis en œuvre avec un appareillage adapté.
- Dans le cas de plates-formes inférieures à PF2, se référer au tableau 14 page 87.
- Dans le cas de plates-formes supérieures à PF2 :
 - les épaisseurs des pavés ne sont pas modifiées ;
 - les épaisseurs de béton dense sont réduites de 1 cm par classe de plate-forme ;
 - les épaisseurs de béton poreux sont réduites de 2 cm par classe de plate-forme.

Tableau 19 : exemples de structures de chées réservoirs pour voies de distribution principale ou à trafic principal *	
TRAFFIC 150 À 300 PL/ • PLATE-FORME PF2 • DURÉE DE SERVICE 20 ANS • TAUX DE CROISSANCE DU TRAFIC LOURD 1 %	
Capacité stockage \ Revêtement	Béton dense
Forte capacité de stockage d'eau	
Capacité de stockage d'eau moyenne	

*Configuration non exhaustives



Grave non traité poreuse



Béton poreux



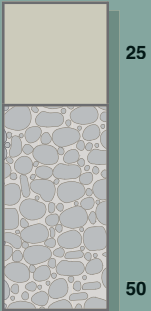
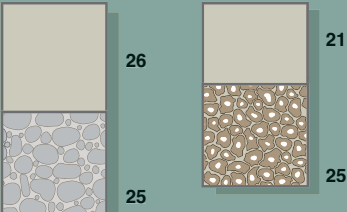
Béton classe 5

Avertissements

- Dans le cas de plates-formes inférieures à PF2, se référer au tableau 14 page 87.
- Dans le cas de plates-formes supérieures à PF2 :
 - les épaisseurs de béton de revêtement sont réduites de 1 cm par classe de plate-forme ;
 - les épaisseurs de béton poreux sont réduites de 2 cm par classe de plate-forme.

Tableau 20 : exemples de structures de chéées réservoirs pour voies de desserte industrielle et voies de transport en commun chargées *

TRAFIC 350 À 750 PL/1 • PLATE-FORME PF2 • DURÉE DE SERVICE 20 ANS • TAUX DE CROISSANCE DU TRAFIC Lourd 1 %

Capacité stockage \ Revêtement	Béton dense
Forte capacité de stockage d'eau	
Capacité de stockage d'eau moyenne	

*Configuration non exhaustives



Grave non traité poreuse



Béton poreux



Béton classe 5

Avertissements

- Dans le cas de plates-formes inférieures à PF2, se référer au tableau 14 page 87.
- Dans le cas de plates-formes supérieures à PF2 :
 - les épaisseurs de béton de revêtement sont réduites de 1 cm par classe de plate-forme ;
 - les épaisseurs de béton poreux sont réduites de 2 cm par classe de plate-forme.

3 - Dimensionnement géométrique

La particularité du processus de dimensionnement d'un aménagement à fonction réservoir est de s'appuyer au départ sur le volume d'eau à stocker issu de l'étude hydraulique. L'exercice consiste ensuite à croiser les caractéristiques mécaniques des matériaux avec leur capacité de stockage en faisant varier les épaisseurs à mettre en œuvre et (quand l'opération est possible) les largeurs du profil en travers afin d'obtenir le volume de stockage recherché. D'autres paramètres peuvent également intervenir, comme la profondeur de pose des réseaux souterrains ou encore la nécessité de mise hors gel du sol support, voire la présence de seuils d'immeubles à respecter. Le choix du béton en couche de base ou en couche de base et revêtement permet, outre les qualités du matériau en matière de pérennité, de s'accommoder d'un sol support de moindre portance sans avoir à procéder à des décaissements importants.

3.1 - Démarche générale

À la fois concept et outil, le dimensionnement géométrique, en donnant au projet sa forme définitive, participe également aux principes qui sous-tendent la stratégie générale de l'aménagement.

ENCART 2 – EXEMPLES

- Des voies larges au tracé rectiligne vont engendrer des vitesses élevées et par suite contribuer implicitement à la prédominance de l'automobile, allant ainsi parfois jusqu'à exclure totalement les autres modes de déplacement.

- Des emprises surdimensionnées résultant de l'empilage des fonctions sont autant de ruptures dans le tissu urbain qui aggravent encore la ségrégation des quartiers.

- Des chaussées correctement dimensionnées vont plutôt participer au rééquilibrage de l'espace viaire entre les différents usagers.

- La maîtrise du tracé vise à diminuer le différentiel de vitesse, et de fait améliore les conditions de sécurité.

- Un projet au dimensionnement pertinent permet par exemple de réserver de l'espace pour des plantations, du mobilier urbain, des pistes cyclables, des emplacements de stationnement bien délimités, etc. et contribuer ainsi à l'amélioration du cadre de vie.

- La démarche liminaire consiste d'abord à bien positionner le projet dans son environnement :

- hiérarchie dans la trame viaire* par rapport aux différents types de déplacements (sans oublier les transports en commun, les cyclistes et les piétons) ;

- situation par rapport à l'environnement (bâti, structure végétale, topographie d'ensemble, relevé des différents accès et contraintes à respecter).

Ensuite, il faut cerner les fonctions auxquelles le nouvel aménagement doit répondre. Puis il convient de définir un parti général d'aménagement dans lequel s'inscrit le processus dimensionnel, et non l'inverse, à défaut de retomber très vite dans une stratégie inflationniste en matière de voies de circulation automobile. C'est surtout le cas au niveau des carrefours, où la spécialisation des voies en favorise toujours le fonctionnement.

* Ensemble de voiries.



Large emprise et tracé rectiligne favorisant la vitesse (noter le terre-plein en pavés perméables).



Traitement d'un fond de perspective.



Emprise importante dédiée au cheminement des piétons.

3.2 - Règles de base

■ 3.2.1 - Largeur des voies (encart 3)

En section courante, la largeur d'une voie est de 3,5 m pour les voies structurantes ou à fort trafic PL, et de 3 m dans les autres cas.

En carrefour à feux, les voies sont réduites à 3 m et peuvent être abaissées jusqu'à 2,5 m pour les tourne-à-gauche.

Surlargeurs en courbe : les valeurs à prendre en compte sont soit issues des logiciels de tracé routier, soit des épures de giration dès lors que les rayons intérieurs sont inférieurs à 35 m. Dans la pratique, on peut retenir en première approximation les formules suivantes :

Rayon < 120 m : surlargeur = $50/R$

Rayon < 35 m : surlargeur issue des épures de giration (logiciel Giration du CERTU).

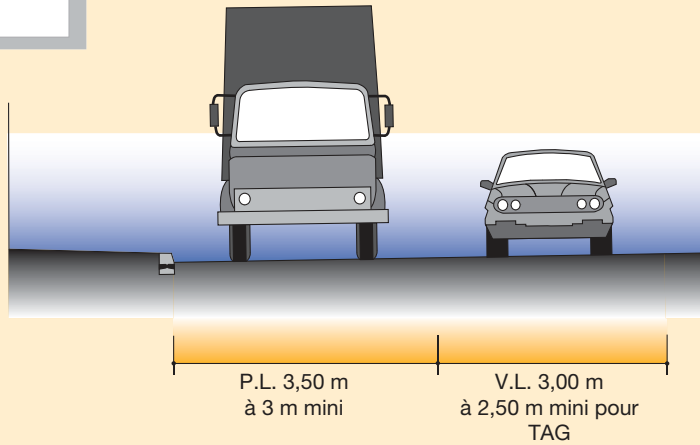
Largeurs réduites :

- deux VL se croisent à vitesse lente (30 km/h) dans une voie de 4,8 m ;
- un PL et un VL se croisent également dans une voie de 4,8 m, mais au pas ;
- deux VL se croisent à 50 km/h dans une voie de 5,5 m ;
- deux PL se croisent au pas dans la même voie de 5,5 m, à condition que les dévers ne soient pas trop importants sous peine d'accrocher les obstacles latéraux.

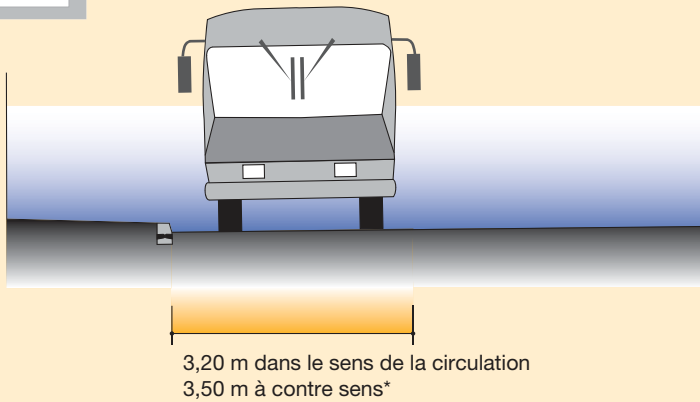
Voies de bus : la largeur minimale d'un couloir de bus est de 3,2 m dans le sens de la circulation et de 3,5 m à contresens. En cas de couloir de bus avec cyclistes, les largeurs minimales sont à augmenter d'un mètre (4,2 et 4,5 m). Si le couloir est bordé de part et d'autre, il faut ajouter 20 cm aux largeurs précédemment évoquées.

ENCART 3 - LARGEURS DES VOIE

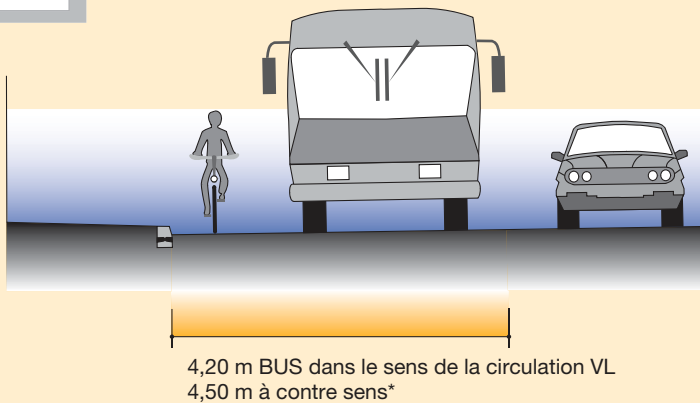
Chaussées



Voies bus



Voies bus avec cyclistes



* rajouter 0,20 m si le couloir est borduré des deux côtés

■ **3.2.2 - Stationnement (encart 4)**

Longitudinal :

- longueur : 5 m ;
- largeur : 2 m ; mini 1,80.

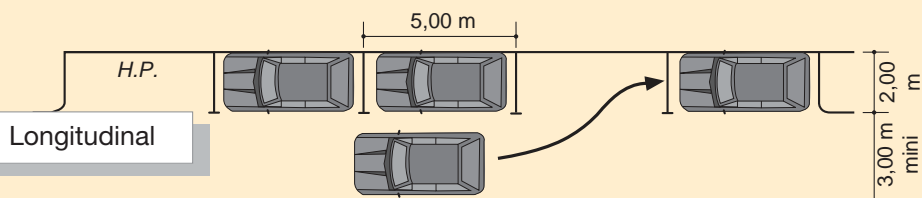
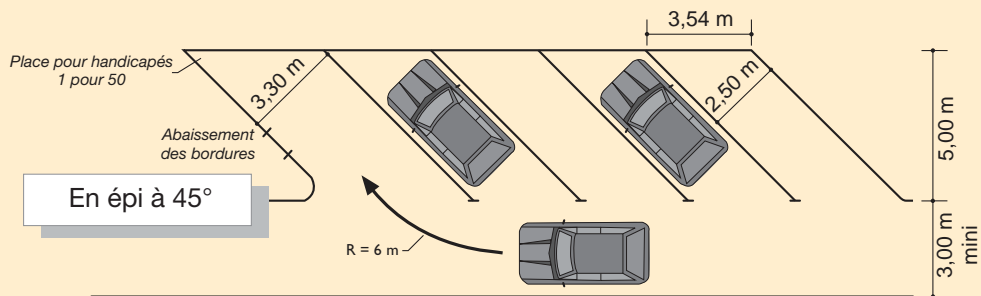
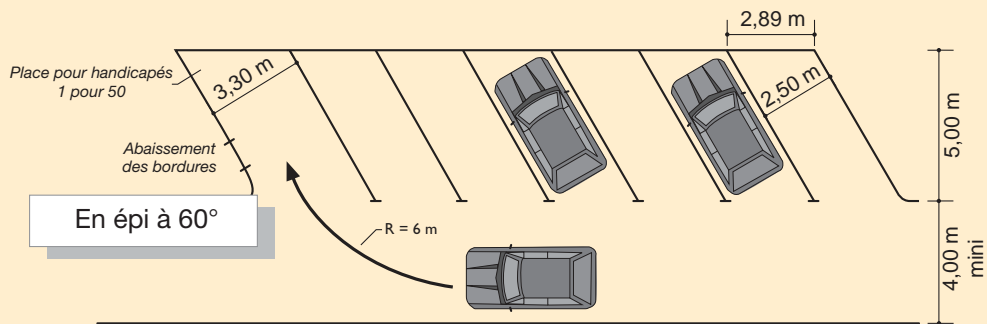
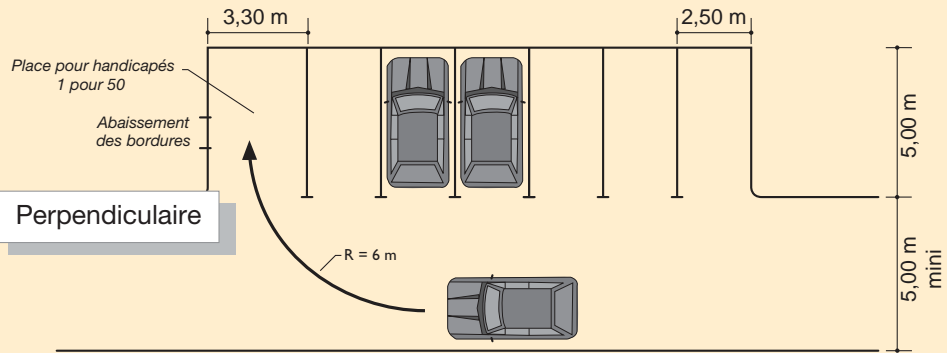
En épi :

- profondeur : 5 m ;
- largeur : 2,5 m ;
- largeur de la voie d'accès : 3 m, 4 m et 5 m, pour les angles respectifs de 45°, 60° et 90°.

Pour personnes handicapés :

- longueur : 5 m ;
- largeur : 3,3 m (2,5 + 0,8 m) ;
- nombre : 1 place HP pour 50 emplacements.

ENCART 4 - STATIONNEMENT



■ **3.2.3 - Pistes et bandes cyclables (encart 5)**

Pistes cyclables en site propre ou sur trottoir :

- bidirectionnelles :
 - 3,5 m axes à fort débit,
 - 3 m cas courant,
 - 2,5 m exceptionnel si $l < 100$ ml ;
- unidirectionnelles :
 - 2 m axes à fort débit ;
 - 1,5 m cas courant ;
 - 1,25 m exceptionnel si $l < 100$ ml.

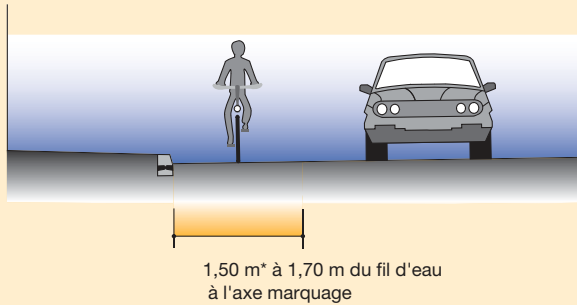
Dans le cas des pistes sur trottoir, il faut ménager un espace de sécurité de 50 cm entre la bordure du trottoir et le bord de la piste.

Bandes cyclables :

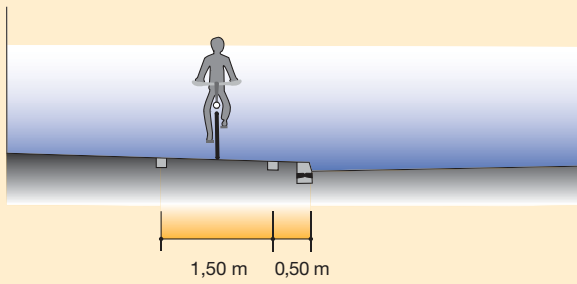
- unidirectionnelles dans le sens de la circulation :
 - 1,5 m cas courant ;
 - 1,7 m en cas de stationnement parallèle ;
- unidirectionnelles à contresens :
 - 1,5 m dans tous les cas de figure.

ENCART 5 VOIES CYCLABLES

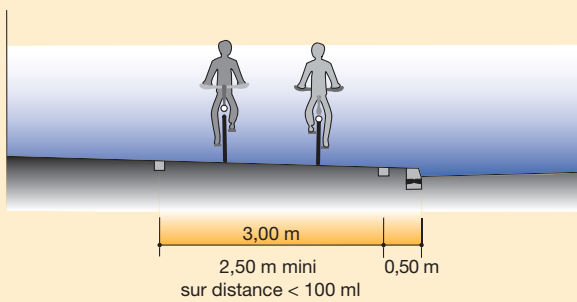
Bandes



Pistes unidirectionnelles



Piste bidirectionnelles



* 1,50 maxi pour les bandes à contre sens

■ **3.2.4 - Cheminements piétons (encart 6)**

• Trottoir mini

1,8 m (norme NF P 98-350) croisement de deux usagers en fauteuil roulant

1,4 m cheminement réduit

3,4 m avec piste cyclable unidirectionnelle (0,5 + 1,5 + 1,4 m)

3,5 m avec abribus (0,9 + 1,6 + 1 m)

4 m avec plantation côté bordure (fosses 3 x 2 m)

4,9 m avec piste cyclable bidirectionnelle (0,5 + 3 + 1,4 m)

• Îlots refuge

1,5 m mini si la chaussée à traverser est > 12 m

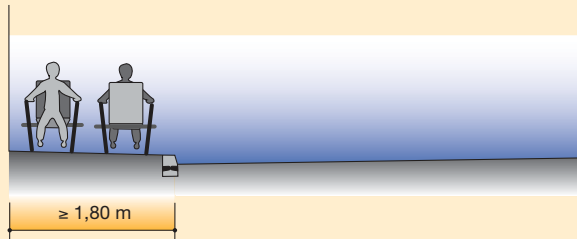
2 m en cas de traversée de cyclistes au passage piétons

• Quais centraux TC

2,5 m mini, longueur 20 m + les rampants (3 ml par côté)

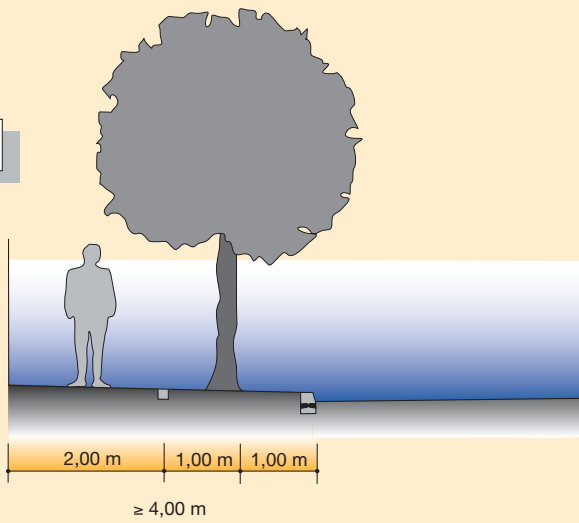
ENCART 6 - CHEMINEMENTS ÉTONS

Trottoirs

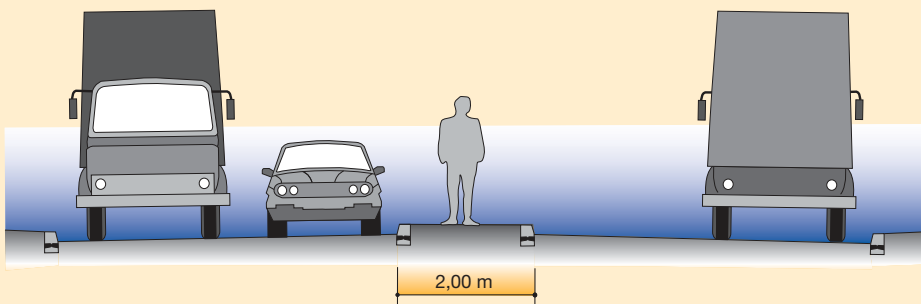


libre d'obstacle norme NF P 98-350

Trottoirs plantés



Ilots refuges



Implantation indispensable lorsque la chaussée est ≥ 12 m ou comporte 4 voies de circulation

4 - Approche d'un projet de chaussée à structure réservoir

4.1 - Choix du concept

Le concept se choisit en fonction du site. En particulier :

- l'étude de la perméabilité du sol et de l'existence et de la profondeur des nappes phréatiques est indispensable en cas d'évacuation par infiltration ;
- il faut éviter les revêtements perméables sur les voiries dont la fonction et l'environnement pourront accélérer le colmatage (marchés forains, arbres, chantiers de construction en projet...) ;
- il faut prendre en compte les contraintes esthétiques et le contexte économique régional (matériaux et techniques).

La longueur de l'aménagement étant généralement fixée, la surface de stockage va être obtenue par la répartition du profil en travers (chaussée poreuse uniquement, chaussée poreuse + trottoirs poreux, surlargeur d'infiltration...) ; le choix du concept est donc déterminant pour le dimensionnement géométrique.



Pavés et dalles gazon à vocations écologique et hydraulique.

4.2 - Rappel des différents concepts et de leurs spécificités (figure 18)

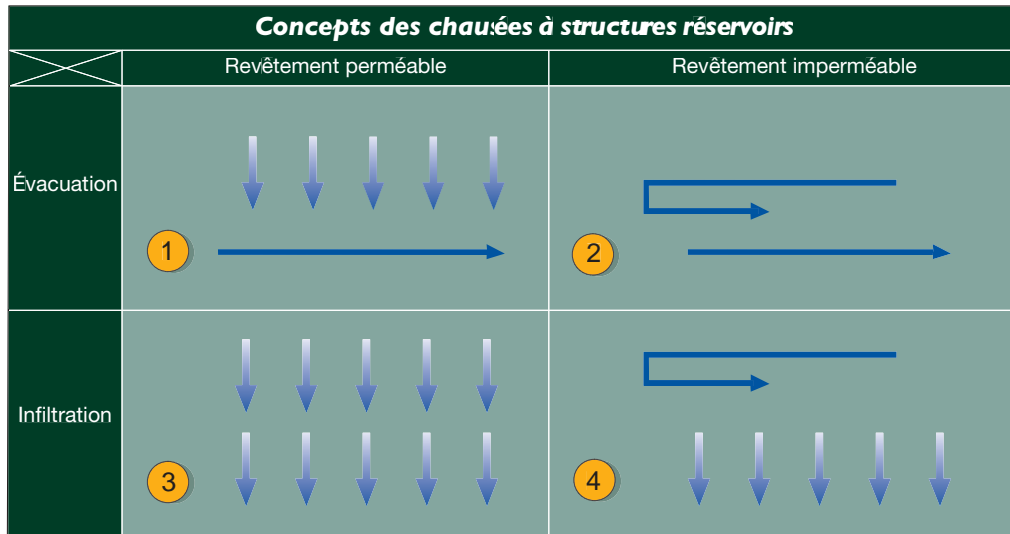


Figure 18 : concept des chaussées à structures réservoirs.

Cas 1 : revêtement perméable.

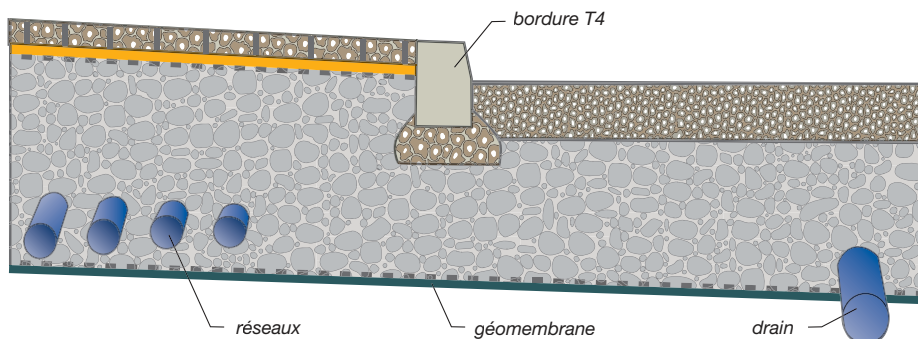
Pas de caniveau (économie, largeur).

Pas de puisards de rue.

Profil en travers horizontal.

Profil en long horizontal possible (souci architectural).

Réseau d'évacuation à prévoir.



- Lit de pose sable et concassé
- Béton drainant
- Béton poreux
- Grave non traité poreuse
- Pavés poreux
- Géotextile*

* Si les matériaux drainants présentent un risque de poinçonnement, il est conseillé de protéger la géomembrane en la recouvrant d'un second géotextile

Figure 19 : Structure réservoir en béton hydraulique drainant avec évacuation.

Cas 2 : revêtement imperméable.

Réseau de recueillement et d'évacuation à prévoir.

Puisards de rue à prévoir.

Regards de visite à positionner.

Fond de forme à compartimenter suivant la pente du profil en long.

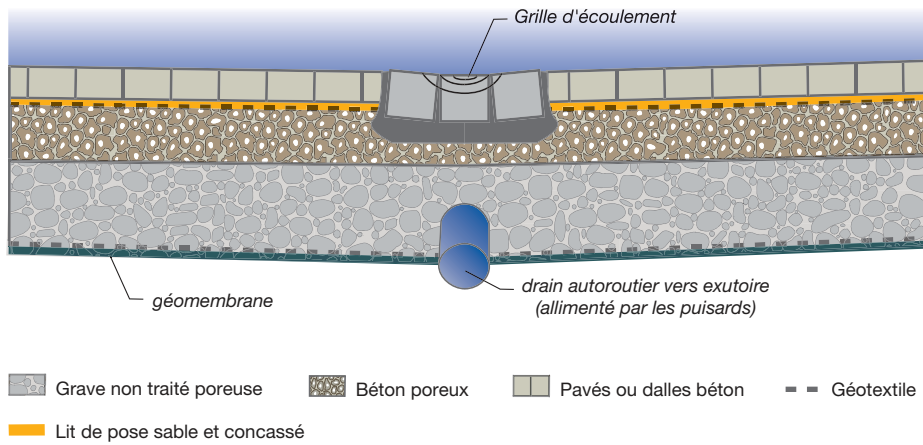


Figure 20 : structure réservoir en béton hydraulique poreux revêtue d'un dallage avec évacuation.

Cas 3 : revêtement perméable.

Pas de réseau de recueillement, sauf si l'infiltration est localisée, par exemple par le biais d'une tranchée drainante (cas d'un sol imperméable en surface).

Pas de regards de visite à positionner.

Compartimentage du fond de forme à étudier précisément en fonction du différentiel d'infiltration entre le sol en place et la structure réservoir.

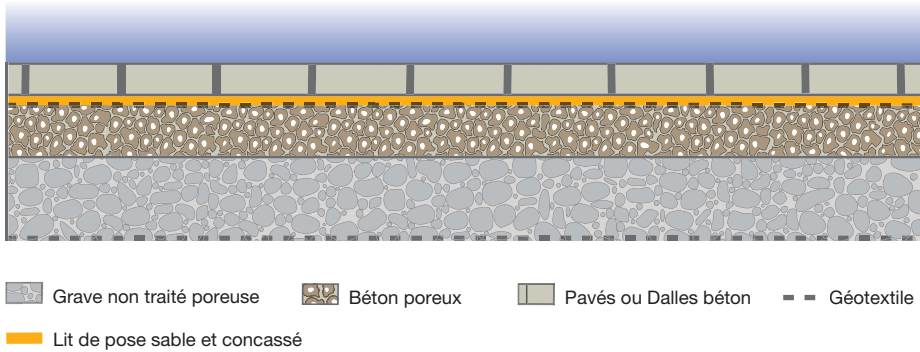


Figure 21 : structure réservoir en pavés disjoints sur béton poreux avec infiltration directe.

Cas 4 : revêtement imperméable.

Réseau de recueillement et de distribution à prévoir.

Puisards de rue.

Profil en travers avec dévers (unique ou en toit).

Profil en long avec pente > 0,4 %.

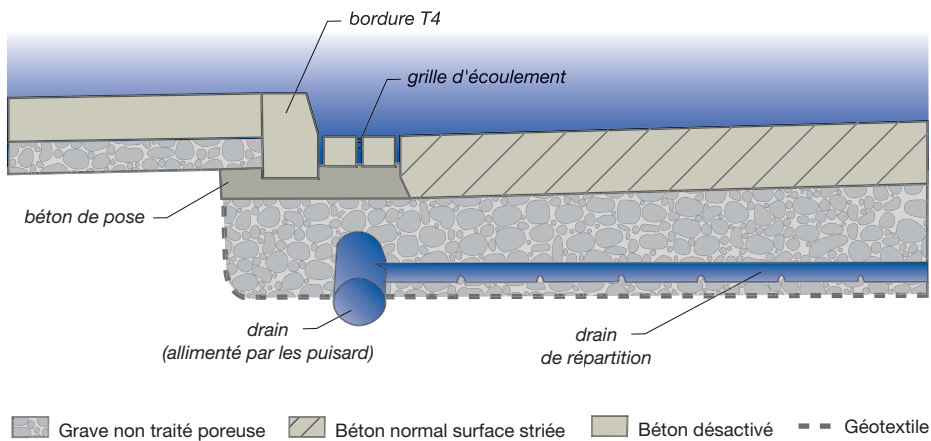


Figure 22 : structure réservoir en béton classique en surface et infiltration.

4.3 - Dimensionnements

Dimensionnement géométrique : le concept fixé, les longueurs, largeurs, profils en long, profils en travers vont permettre de calculer la surface S disponible pour le stockage de l'eau.

Dimensionnement hydraulique : après délimitation des bassins versants et détermination des surfaces d'apport d'eaux pluviales, on calcule le volume V_{hyd} d'eau à stocker.

Dimensionnement mécanique : avec les caractéristiques mécaniques des matériaux choisis – drainant ou non pour le revêtement et poreux pour l'assise –, on calcule une épaisseur de structure de chaussée : épaisseur du revêtement + épaisseur de l'assise.

4.4 - Synthèse des trois dimensionnements

En fonction de la porosité des matériaux choisis, on calcule à partir de la surface S et les épaisseurs (revêtement et assise) du dimensionnement mécanique le volume stockable, soit : V_{mec} .

On compare ensuite V_{hyd} et V_{mec} :

- 1^{er} cas : ces volumes sont très proches, $V_{hyd} \approx V_{mec}$, et les structures sont compatibles avec les possibilités et les contraintes du site ; on retiendra le dimensionnement mécanique.

- 2^e cas : V_{hyd} est très différent de V_{mec} . Il faut alors reprendre les calculs en intervenant selon le cas :
 - sur les caractéristiques des matériaux, par exemple en augmentant la porosité d'un béton poreux, ce qui diminue ses performances mécaniques, ou inversement ;
 - sur le choix du type de structure, par exemple en remplaçant l'assise en béton poreux par une assise en grave non traitée poreuse ou inversement ;
 - en améliorant le débit de fuite Q , en ajoutant par exemple à une évacuation par infiltration un débit complémentaire dans le réseau d'assainissement ou dans un épandage superficiel.

Pour revenir au cas précédent, $V_{hyd} \approx V_{mec}$, pour lequel les épaisseurs des structures permettent à la chaussée de satisfaire aux exigences du trafic.

Il est bien évident que si le dimensionnement mécanique permet d'obtenir dans des conditions techniques et économiques correctes un $V_{mec} > V_{hyd}$, on se dispensera d'une reprise des calculs (figure 23).

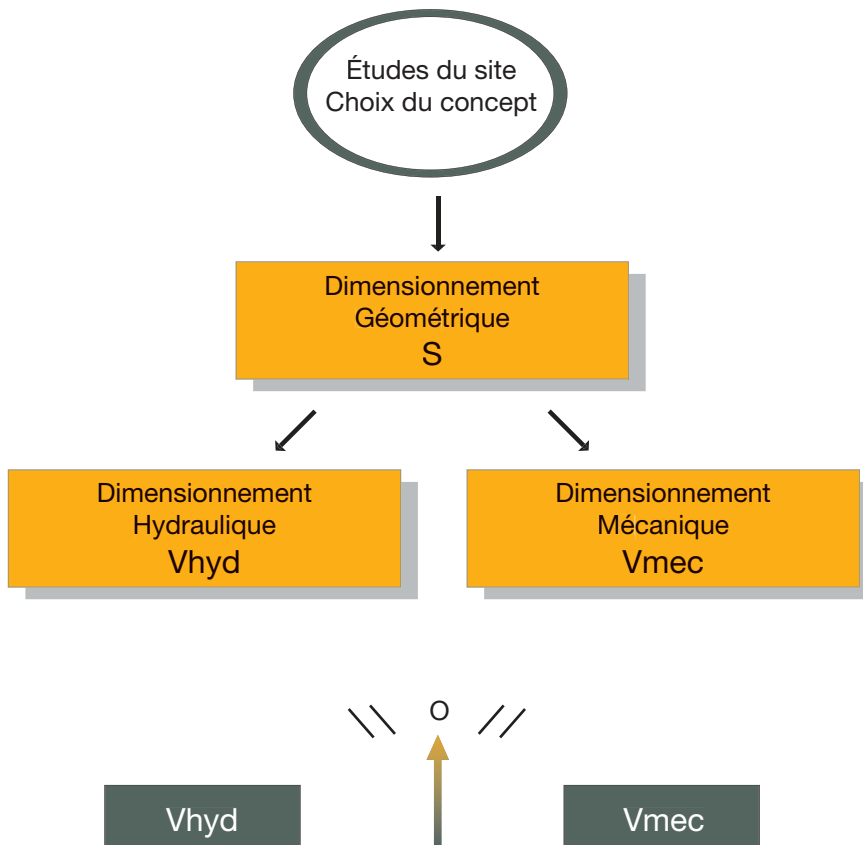


Figure 23 : illustration de la démarche de dimensionnement

La mise en œuvre

- 1 - Introduction**
- 2 - Réalisation : les différentes phases**
- 3 - Réalisation d'une couche d'assises en GNT**
- 4 - Réalisation d'un revêtement en béton dense**
- 5 - Réalisation d'une couche d'assises en béton poreux**
- 6 - Réalisation d'un revêtement en béton drainant**
- 7 - Réalisation d'un revêtement modulaire en béton**

1. Introduction

La chaussée réservoir se présente comme une structure multicouche, mise en œuvre sur un ensemble appelé « plate-forme support de chaussée ». Celle-ci est constituée du sol terrassé (dit sol support) surmonté généralement d'une couche de forme. La structure type d'une chaussée réservoir, présentée sur la figure 24, précise la terminologie adoptée.

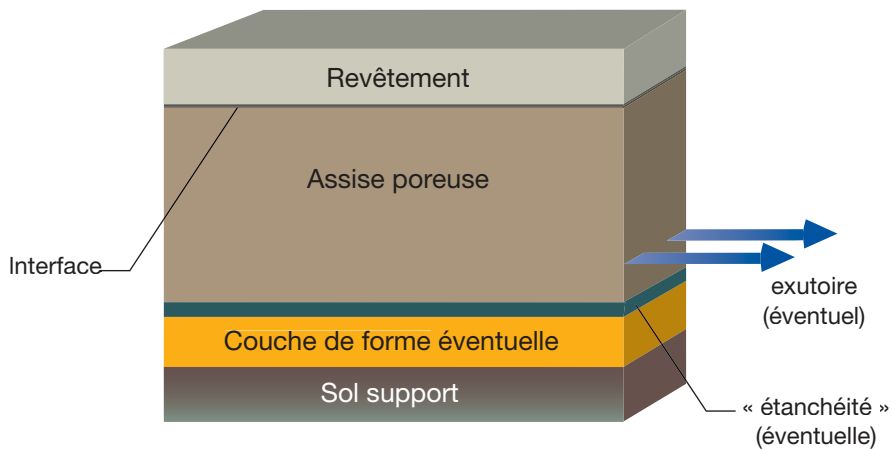


Figure 24 : structure type d'une chaussée réservoir.

La chaussée réservoir doit notamment assurer les deux fonctions principales suivantes :

- la fonction mécanique ;
- la fonction hydraulique.

D'autres fonctions peuvent être exigées (ou assurées) telles la sécurité, l'écologie, l'esthétique, etc.

Selon les solutions adoptées, d'une part pour acheminer les eaux dans la structure et, d'autre part, pour les évacuer, plusieurs concepts de chaussées réservoir sont possibles. Ils font l'objet d'un traitement approfondi au chapitre 3.

2. Réalisation : les différentes phases

2.1 - Travaux préparatoires

Dans le cas d'un chantier en zone urbaine ou périurbaine, un certain nombre d'opérations préalables à l'exécution des travaux est nécessaire pour limiter au maximum les contraintes auxquelles sont soumis les usagers et les riverains. Il est donc impératif de tenir compte de l'exploitation particulière de la rue (signalisation, stationnement, manifestations particulières, marchés, etc.). Sur le plan de la planification, il est nécessaire de contacter les intervenants éventuels sur le domaine public afin de coordonner parfaitement les différentes interventions.

La protection du chantier, d'une part, et des usagers, d'autres part, nécessite une signalisation, un balisage particulier ainsi que des précautions contre les dégradations que peuvent créer les piétons, les cyclistes et les véhicules, notamment vis-à-vis des traces sur le béton frais pendant toute la phase du durcissement (environ 12 heures). Une campagne d'information auprès des riverains permettra de limiter au maximum ce risque de dégradations.

2.2 - Préparation de la plate-forme

La surface, sur laquelle le matériau d'assise doit être répandu, est préalablement nettoyée et débarrassée de toutes traces de boues et de matières organiques.

Pendant la durée des travaux, il faut s'assurer en permanence que l'évacuation de l'eau superficielle du fond de forme est réalisée afin que les travaux d'assises puissent s'exécuter dans de bonnes conditions.

La plate-forme support et les dispositifs d'assainissement et de drainage doivent être maintenus en état de fonctionnement pendant la durée des travaux. Pour l'installation des drains dans la plate-forme, il est conseillé de les placer dans des saignées afin de les protéger pendant la durée d'exécution du chantier. Dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire de construire des ouvrages provisoires pour assurer l'écoulement des eaux. Ils seront supprimés à l'achèvement des travaux.

Dans le cas général, la plate-forme support permet la circulation des engins de chantier. Les véhicules en charge peuvent alors l'emprunter. Il faut cependant assurer l'entretien de cette plate-forme et sa remise en état en éliminant systématiquement toute trace d'orniérage ou de flashes pouvant constituer des pièges à eau et avoir des incidences graves sur la tenue ultérieure de l'assise (sous-épaisseurs de la couche d'assises).

Si la plate-forme n'est pas en mesure de résister à la circulation des engins, il faut réaliser une piste de chantier ou approvisionner les matériaux à l'avancement dans la mesure où la qualité des matériaux mis en œuvre le permet. Toutes les dispositions doivent alors être prises pour qu'aucun véhicule ne circule sur la plate-forme support.

2.3 - Réception de la plate-forme

Avant la mise en œuvre de l'assise, la plate-forme support doit être conforme, en fonction des tolérances, aux spécifications de géométrie et de portance du projet. La plate-forme support fait l'objet d'un léger décapage, de l'enlèvement des herbes et des détritiques et de la suppression des ornières pouvant être nuisibles à l'écoulement des eaux superficielles.

Dans la plupart des cas, il est effectué un piquetage général conformément à l'article 27 « Travaux » du CCAG. Il n'est pas exécuté de piquetage général si le corps de chaussée est exécuté par référence à :

- des ouvrages longitudinaux (bordures, caniveaux, etc.) existants, ou construits préalablement, en bordure de l'assise à réaliser ;
- un support existant ; dans ce cas, un piquetage de repérage sera réalisé pour vérifier que l'assise est bien projetée en plan par rapport à ce support.

2.4 - Mise en œuvre de l'étanchéité du support (et des bords)

À envisager uniquement dans le cas des concepts à évacuation localisée (voir géomembrane et couche d'émulsion gravillonnée).

2.5 - Mise en œuvre des exutoires

À envisager uniquement dans le cas des concepts à évacuation localisée.

2.6 - Réalisation de l'assise

- a) Assise en GNTP (GNT d/D) : consulter la fiche type GNTP ci-après.
- b) Assise en béton poreux : consulter la fiche type « Béton poreux » ci-après.

2.7 - Réalisation d'ouvrages divers

Ceci concerne les drains, les bordures, les caniveaux, les tuyaux, les regards, les boîtes de branchement, etc.

2.8 - Traitement de l'interface éventuelle entre l'assise et le revêtement

Dans le cas d'un revêtement modulaire, il y a lieu d'interposer un géotextile entre l'assise poreuse et lit de pose.

2.9 - Réalisation du revêtement

a) Revêtement imperméable

- Béton dense : consulter la fiche-type « Béton dense » ci-après.
- Revêtement modulaire : consulter la fiche-type « Revêtement modulaire » ci-après.

b) Revêtement perméable

- Béton drainant : consulter la fiche-type « Béton drainant » ci-après.
- Revêtement modulaire (perméable, à joints larges, etc.) : consulter la fiche-type « Revêtement modulaire » ci-après.

3. Réalisation d'une couche d'assises en GNTP

C'est un matériau comportant un réseau de vides communicants entre eux et avec l'extérieur. Ces vides sont d'une taille suffisante pour permettre à l'eau d'y être stockée temporairement, d'y circuler et d'être évacuée vers un exutoire et ce de façon durable. Pour obtenir ces vides de façon permanente, on utilise des granulats concassés de D_{\max} élevé, dont on élimine la fraction sableuse. Les vides obtenus sont ainsi le fait de la composition du matériau et non d'un compactage insuffisant.

3.1 - Textes de référence

Il existe quatre documents de référence relatifs à la réalisation d'un revêtement en GNTP :

- fascicule 25 du CCTG, *Exécution des corps de chaussées* ;
- norme NF EN 13285 « Graves non traitées – Spécifications » ;
- norme NF P 98-115 « Assises de chaussées – Exécution des corps de chaussées »
- cours de Routes « Assises de chaussées » Presses de l'ENPC – 1985.

3.2 - Fabrication

Une GNTP est constituée de granulats concassés de granulométrie d/D avec :

- $d > 8 \text{ mm}$
- et
- $25 < D < 100 \text{ mm}$
- et
- $\frac{D}{d} > 3$

Elle est fabriquée en élimant la fraction sableuse d'un O/D concassé. Le passant à 2 mm (propreté) sera inférieur à 3 %. Une bonne résistance à l'attrition est demandée :

- $LA < 30$
- et
- $MDE < 25$

La porosité de ce matériau est voisine de 40 %.

3.3 - Transport et manutention

Les opérations de chargement, de transport et de déchargement des granulats d/D sont effectuées avec toutes les précautions nécessaires pour éviter leur pollution, leur ségrégation et leur évolution.

3.4 - Stockage

S'il y a lieu, le stockage des granulats d/D se fait sur des plates-formes aménagées à cet effet, conformément à l'article 6 du fascicule 23 du CCTG. Pour les dispositions pratiques de stockage, le lecteur pourra se référer au Guide pour le stockage des granulats – SETRA/LCPC.

3.5 - Mise en œuvre

La mise en œuvre de la GNT d/D est une opération très importante, dont dépendent en grande partie la réussite du projet et sa pérennité dans le temps. Il convient donc d'y apporter un soin particulier et de prendre en compte toutes les dispositions techniques influençant le déroulement de cette opération.

■ 3.5.1 - Opérations préalables particulières

● 3.5.1.1 - Dispositions particulières

Lorsque la plate-forme support est en matériau sensible à l'eau, la couche d'assises en GNTP d/D ne sera pas réalisée directement sur cette plate-forme. Dans ce cas, il serait judicieux de réaliser une interface constituée d'une membrane étanche et/ou d'un géotextile.

● 3.5.1.2 - Vérification préalable du support

Avant la mise en œuvre de l'assise en GNTD, on vérifie que la portance du support satisfait l'une des trois conditions suivantes :

- le coefficient de restitution dynaplaque est supérieur à 50 % ;
- le module à l'essai de plaque est supérieur à 50 Mpa ;
- la déflexion mesurée à l'essieu de 13 tonnes est inférieure à 200/100 de mm.

S'il est constaté des défauts ou discordances avec le projet, des réfections du support sont réalisées ou le projet est adapté.

■ **3.5.2 - Mise en œuvre de la GNT d/D**

La mise en œuvre comprend :

- le répandage ;
- le réglage ;
- le compactage.

● 3.5.2.1 - Le répandage

Le matériau est déversé en tas sur le lieu même de son utilisation, ou mis en cordon. Il est ensuite régalié à l'aide d'une niveleuse. Quand la portance du support est faible ou lorsque des ouvrages existants sont proches de la surface, les mélanges sont répandus à l'avancement, en faisant circuler les engins de transport sur une couche suffisante de matériaux. Pour faciliter leur réglage et leur compactage, la GNT d/D est mise en œuvre par couches de 30 à 40 cm d'épaisseur.

● 3.5.2.2 - Le réglage

Dans un premier temps, la GNT d/D est pré-compactée à raison d'un tiers à deux tiers de l'énergie totale de compactage. Elle est ensuite réglée. Pour obtenir une épaisseur régulière et un uni correct de la couche de roulement quand la couche d'assises est constituée de GNT d/D avec $D > 40$ mm, il faut répandre, avant l'exécution de la couche de roulement, un gravillon concassé 10/14 ou 10/20 à raison de 15 à 30 l/m². Enfin, le dernier compactage donne à l'ensemble de la couche les compacités visées au projet.

Si l'épaisseur du matériau répandue s'avère insuffisante, l'entreprise scarifie et foisonne le matériau en place et complète par les quantités nécessaires. L'ensemble est ensuite réglé et compacté.

● 3.5.2.3 - Le compactage

Le compactage doit conférer au matériau l'état de densité nécessaire à l'obtention des caractéristiques mécaniques prévues. Les prescriptions sont fondées sur la définition et le contrôle des moyens de compactage et de leur mode d'utilisation.

4. Réalisation d'un revêtement en béton dense

Un béton dense est un mélange de gravillons, de sable, de ciment, d'eau et d'adjuvants. Il est mis en place par vibration externe ou pervibration, sans compactage. Dans ce cas, il est utilisé en revêtement où il peut jouer en même temps le rôle de couche de base et de surface. De par sa moulabilité et sa plasticité, il permet d'obtenir un large éventail de possibilités au niveau des formes, des couleurs et de la texture dans des conditions économiques très compétitives.

4.1 - Textes de référence

Il existe cinq documents de référence relatifs à la réalisation d'un revêtement en béton dense :

- fascicule 28 du CCTG, *Exécution des chaussées en béton hydraulique* ;
- norme NF P 98-170 « Chaussées en béton de ciment – Exécution et contrôle » ;
- Voiries et aménagements urbains en béton, tome 2 : mise en œuvre, CIMBÉTON, 1998 ;
- Voiries et aménagements urbains en béton, tome 3 : CCTP-Type, BPU et DE, CIMBÉTON, 1998 ;
- *Chaussées urbaines en béton*, CERTU, 1995.

4.2 - Fabrication et transport

À titre indicatif, un béton dense peut avoir la composition suivante :

- ciment : 330 kg/m³
- gravillons 6/20 : 1200 kg/m³
- sables 0/6 : 750 kg/m³
- eau : 160 l/m³
- plastifiant : 1 kg/m³
- entraîneur d'air : 0,3 kg/m³

La fabrication du béton dense se fait soit en centrale continue, soit en centrale discontinue. Les capacités de fabrication et de transport doivent permettre d'alimenter, sans discontinuer, le chantier.

4.3 - Mise en œuvre du béton

La mise en œuvre du béton est une opération très importante, dont dépendent en grande partie la réussite d'un aménagement et sa pérennité dans le temps. Il convient donc d'y apporter un soin particulier et de prendre en compte tous les paramètres techniques et climatiques qui peuvent influencer lors du déroulement de cette opération.

■ 4.3.1 - *Prise en compte des conditions climatiques*

L'entreprise devra être vigilante sur les conditions météorologiques afin de prendre les dispositions nécessaires en cas de pluie, vent, forte chaleur ou gel et de prendre les précautions telles que définies dans le tableau 22.

● 4.3.1.1 - Bétonnage par temps froid

Le froid retarde la prise du béton et allonge les temps de durcissement. Si la température extérieure diurne descend jusqu'à + 5 °C et que le gel risque de se produire pendant la nuit suivante, il y a lieu d'arrêter le bétonnage. Il est possible, en utilisant un béton chaud (15 à 25 °C), préparé en usine, d'envisager de bétonner, mais seulement si le programme des travaux l'exige et ne permet pas d'attendre une remontée des températures.

● 4.3.1.2 - Bétonnage par temps de pluie

Si la bruine ne présente aucun inconvénient et même peut être favorable au comportement du béton, en cas de pluie ou d'averses importantes, on court le risque de dégrader les dalles par l'effacement du striage, le délavage de la surface et l'élimination du produit de cure et enfin l'effondrement des bords de dalle. Il faut donc avoir toujours en réserve un rouleau de film de polyéthylène qui sera déroulé pour protéger la partie de béton trop fraîche pour résister aux atteintes des précipitations.

● 4.3.1.3 - Bétonnage par temps chaud

Il faut éviter, dans ce cas, de faire coïncider le maximum de chaleur d'hydratation du béton avec la période la plus chaude de la journée. Afin d'éviter les risques de retrait important et de fissuration, il est préférable de commencer à bétonner en début d'après-midi, ce qui permettra de compenser, par la fraîcheur relative de la nuit, les effets de la plus forte chaleur dégagée par la prise du béton.

Dans le cas où le bétonnage doit s'effectuer directement sur la plate-forme (en l'absence de géomembrane), constituée d'un matériau susceptible d'absorber une partie de l'eau du béton, il sera nécessaire de réaliser, immédiatement avant le bétonnage, un arrosage du support en évitant soigneusement la création de flaques d'eau.

Enfin, en période où les gradients de températures journaliers sont importants ($> 12\text{ °C}$), les délais pour effectuer le sciage devront être réduits afin d'éviter tout risque de fissuration des dalles.

Les précautions à prendre en fonction des paramètres de température et d'hygrométrie sont données dans le tableau 21.

Tableau 21 : précautions à prendre en fonction des conditions climatiques

TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE	De 5 à 20 °C	De 20 à 25 °C	De 25 à 30 °C	Au-dessus de 30 °C
HYGROMÉTRIE				
De 60 à 100 %	Conditions normales de bétonnage			Cure renforcée
De 50 à 60 %	Conditions normales de bétonnage	Cure renforcée	Cure renforcée et arrosage de la fondation	Bétonnage à partir de 12 heures
De 40 à 50 %	Cure renforcée		Bétonnage à partir de 12 heures	Cure renforcée et arrosage maintenu de la plate-forme
< 40 %	Arrosage maintenu de la plate-forme		Cure renforcée et arrosage maintenu de la plate-forme	Pas de bétonnage sans mesures spéciales

■ 4.3.2 - Bétonnage

La vibration du béton est une opération obligatoire. Réalisée avec soin, elle confère au béton une grande compacité, des caractéristiques mécaniques élevées et par conséquent une grande durabilité.

Il existe deux modes de vibration :

- la vibration externe : le béton est vibré en surface (règle vibrante, vibrofinisseur) ;
- la vibration interne ou pervibration : le béton est vibré à l'aide d'aiguilles vibrantes immergées dans le matériau (cas des aiguilles vibrantes et des machines à coffrage glissant).

Durant cette opération, il est important de considérer les éléments suivants :

- dans le cas d'une mise en œuvre par vibration externe, le béton est d'abord étalé puis vibré à l'aiguille notamment le long des coffrages avant le passage de la règle ;
- dans le cas d'une mise en œuvre à la machine à coffrage glissant, la fréquence de vibration doit être réglée en fonction de la consistance du béton ; celle-ci, mesurée au cône d'Abrams, doit se situer dans une fourchette de 2 à 5 cm.

On veillera tout particulièrement à ce que l'approvisionnement en béton assure un niveau constant du matériau dans la chambre de pervibration. Différents procédés de mise en œuvre du béton existent. Le choix de l'un ou de l'autre de ces procédés se fait en tenant compte du type de chantier à réaliser, de la géométrie du projet, de l'emprise disponible de part et d'autre du revêtement, etc.

Les procédés de mise en œuvre sont les suivants :

- mise en œuvre à l'aiguille et à la règle vibrante ;
- mise en œuvre au rouleau Striker ;
- mise en œuvre au vibrofinisseur ;
- mise en œuvre à la machine à coffrage glissant.

● 4.3.2.1 - Mise en œuvre à l'aiguille et à la règle vibrantes

C'est la méthode la plus simple. L'approvisionnement en béton se fait par camions-toupies. Le béton est d'abord étalé manuellement, puis vibré à l'aiguille, notamment le long des coffrages avant le passage de la poutre vibrante. On réalise ainsi de 50 à 100 mètres linéaires de chaussée par jour.

Les joints sont le plus souvent moulés dans le béton frais, cette solution étant la plus économique. Ils peuvent également être sciés dans le béton durci. Après le moulage des joints, on procède au traitement de la surface du béton et à la cure.

Équipement nécessaire à l'entreprise :

- 200 m de coffrage ;
- 2 à 3 aiguilles vibrantes ;
- règle vibrante ;
- petits matériels de striage ou balayage et cure ;
- une petite machine de sciage du béton.



Mise en œuvre à l'aiguille et à la règle vibrantes.

● 4.3.2.2 - Mise en œuvre au striker

Le rouleau striker est un nouveau matériel destiné à la mise en œuvre d'une voirie en béton. Il est constitué d'un tube en acier entraîné en rotation par un moteur thermique et hydraulique. Il prend appui sur des coffrages et est tiré manuellement par deux ouvriers. Le poids du tube et la rotation en sens inverse au déplacement permet de conférer au béton d'une part une compacité optimale garantissant des résistances mécaniques élevées et, d'autre part, une homogénéité du béton sur toute l'épaisseur de la dalle permettant l'obtention d'une mosaïque homogène dans le cas du béton désactivé.



Mise en œuvre au striker.

● 4.3.2.3 - Mise en œuvre au vibro-finisser

Le vibro-finisser est muni de trois poutres. Il se déplace sur des rails qui servent en même temps de coffrage. L'écartement réglable de cette machine peut assurer la mise en place du béton sur une largeur allant de 1 à 5 mètres. L'approvisionnement en béton, par camions-toupies, peut être frontal ou latéral. Le déversement et la répartition du béton doivent être réalisés de manière à obtenir une couche uniforme devant la machine. Le béton est réglé, vibré et lissé successivement par les trois poutres du vibro-finisser, qui permet de réaliser 200 à 250 mètres linéaires de chaussée par jour. L'exécution des joints, du traitement de surface (striage ou balayage, cure) se fait de la même manière que pour la mise en œuvre à la poutre et à l'aiguille vibrantes.

Équipement nécessaire
à l'entreprise :

- 500 m de coffrages rails ;
- un vibro-finisser ;
- petits matériels de striage ou balayage et cure ;
- une petite machine de sciage du béton.



*Mise en œuvre
au vibro-finisser.*

● 4.3.2.4 - Mise en œuvre à la machine à coffrage glissant

La mise en œuvre à la machine à coffrage glissant présente de nombreux avantages :

- économie de main d'œuvre ;
- dans la mesure où le volume de travaux est suffisant pour assurer le plein emploi de la machine, des économies d'échelle substantielles permettent d'obtenir des coûts très compétitifs ;
- meilleure qualité dans la réalisation des ouvrages ;
- rapidité d'exécution des chantiers, qui réduit considérablement la gêne créée pour les usagers des voies sur lesquelles les travaux sont exécutés.

Le principe général de fonctionnement de ces machines est le suivant. Le béton est introduit dans un moule à la forme voulue. Il est puissamment vibré par des aiguilles vibrantes placées à l'intérieur du moule, ce qui assure son serrage et la tenue de l'ouvrage dès sa sortie du coffrage. Le moule est tracté et guidé par un ensemble châssis automoteur, lui-même guidé en nivellement et en direction par fil.

Les matériels proposés sur le marché en France diffèrent par la conception de l'ensemble tracteur et par la conception de la fixation du moule à l'élément tracteur.

On peut distinguer :

- les machines portées par deux, trois ou quatre chenilles, le moule étant placé entre chenilles ou à l'extérieur de celles-ci ;
- les machines portées par deux ou quatre chenilles ne travaillant qu'en déporté, caractérisées par un poids élevé nécessaire pour assurer leur stabilité ;
- les machines portées par trois chenilles à géométrie variable.



Certaines machines sont équipées d'une fraise qui règle parfaitement le sol afin de permettre au moule de glisser sur une surface plane (ce qui élimine les pertes de béton et maintient la pression dans le moule à un niveau élevé). Dans cette catégorie de machines, certaines exécutent le fraisage et le moulage de l'ouvrage en une seule opération, d'autres nécessitent deux passages.

Mise en œuvre à la machine à coffrage glissant.

■ 4.3.3 - le talochage

Le talochage est fortement recommandé car il permet de corriger les éventuelles irrégularités à la surface du béton.

Le talochage.



■ 4.3.4 - La confection des joints

La réalisation correcte des joints est une condition essentielle à la pérennité de la voirie. Les joints de retrait/flexion, moulés ou sciés, doivent présenter des espacements tels que définis dans le tableau 22.

Tableau 22 : espacement des joints de retrait/flexion en fonction de l'épaisseur de la dalle

Épaisseur de la dalle (cm)	Espacement des joints (m)
12	3,00
13	3,25
14	3,50
15	3,75
16	4,00
17	4,25
18	4,50
19	4,75
20	5,00

L'exécution des joints transversaux de retrait/flexion s'effectue de deux manières.

● 4.3.4.1 - Exécution des joints moulés

Les joints moulés doivent être exécutés aussitôt après la mise en œuvre du béton. Ils doivent avoir une profondeur minimale égale au quart de l'épaisseur de la dalle béton. Ils sont réalisés par enfoncement dans le béton frais d'une languette ou profilé en plastique, en contre-plaqué ou en bois aggloméré, d'épaisseur comprise entre 3 et 5 mm, qui demeurera dans le béton après son durcissement. Après achèvement du joint, la surface du béton doit être rectifiée par talochage.

Mise en place d'un joint moulé.



● 4.3.4.2 - Exécution des joints sciés

Le sciage des joints doit être exécuté lorsque le béton de la dalle a suffisamment durci pour éviter que la scie ne laisse des traces à la surface du béton, donc obligatoirement après l'opération de cure du béton frais. Il est capital de bien choisir le moment du sciage. Ce délai varie entre 6 et 48 heures, après le bétonnage, en fonction des caractéristiques du béton et des conditions climatiques. Ces joints sont réalisés à l'aide d'une machine à disques diamantés réglée sur une profondeur de l'ordre du quart ou du tiers de l'épaisseur de la dalle. La largeur de sciage est d'environ 3 à 4 mm.



Réalisation d'un joint scié.

Nota

Pour la réalisation des joints de construction ou d'arrêt de bétonnage, il convient de retailler la dalle à 90° afin d'obtenir un bord franc, et de la solidariser avec la coulée de béton suivante, à l'aide de goujons de 30 mm de diamètre, placés dans le sens longitudinal, à mi-hauteur de la dalle et espacés de 0,75 mètres.

■ 4.3.5 - Traitement de surface

Après la mise en œuvre du béton, la surface du revêtement présente un aspect uni, plein et plan. On cherche alors à lui conférer de bonnes qualités antidérapantes. Ces dernières résultent d'une combinaison adéquate de micro et de macrorugosité.



Béton imprimé : application des matrices.



Brossage du béton.

Le passage d'une toile de jute humidifiée permet d'enlever la laitance de surface et de mettre en relief les grains de sable. On obtient ainsi une texture de type « papier de verre » qui présente une bonne microrugosité.

Pour améliorer le drainage, plusieurs techniques de traitement de surface ont été mises au point, répondant aux exigences de sécurité, d'adhérence, d'esthétique et d'intégration à l'environnement. On peut citer à ce propos, le brossage, le striage, le rainurage, le cloutage, le dénudage, le bourchardage et le béton imprimé.

Nota

Le béton peut être coloré dans la masse plus facilement que bien d'autres matériaux.



Béton désactivé : lavage au jet d'eau.

4.3.6 - La cure du béton

Pour éviter la dessiccation de la surface de la dalle de béton sous l'effet des agents atmosphériques (vent, soleil, variation de l'hygrométrie...), on procède immédiatement après la mise en œuvre du revêtement, à la protection du béton. Celle-ci peut être réalisée soit par la mise en place d'un film en polyéthylène, soit par la pulvérisation d'un produit de cure. Le tableau 23 précise, pour chaque technique de traitement de surface, les dispositions à prendre pour assurer une bonne protection du béton.



Pulvérisation du produits de cure.

Tableau 23 : dispositions à prendre pour assurer une bonne protection du béton pour chaque technique de traitement de surface	
PROTECTION	Produit de cure
TECHNIQUE DE TRAITEMENT	
Brossage	Cure immédiatement après le traitement
Striage	
Cloutage	
Désactivation	Cure avant et après désactivation, sauf si le désactivant fait office d'un produit de cure
Bouchardage	Cure avant bouchardage
Béton imprimé	Cure après le traitement (empreinte) mais avant la protection (cire)

■ 4.3.7 - Travail sous circulation

Dans le cas où les travaux sont effectués avec maintien du trafic, la mise en œuvre du revêtement en béton est réalisée par demi-chaussées. Il est recommandé alors de solidariser les deux bandes adjacentes du revêtement soit en façonnant une clé constituée de formes conjuguées, soit en utilisant des fers de liaison transversaux pour maintenir l'alignement vertical des bandes adjacentes et limiter l'ouverture du joint longitudinal (figure 25).

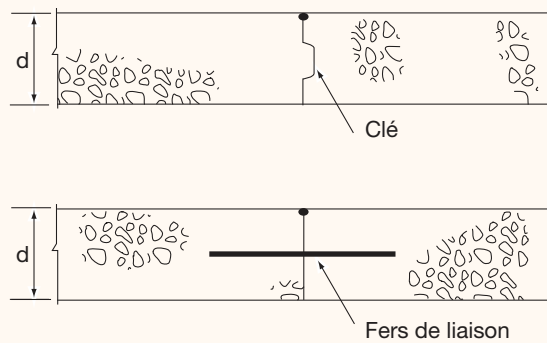


Figure 25 : schémas de joints longitudinaux de construction.

■ 4.3.8 - La remise en circulation

Elle est possible dès que le béton a atteint, *in situ*, 20 MPa en compression. Ceci correspond à un délai d'environ :

- 2 à 3 jours pour les bétons traditionnels ;
- 18 à 24 heures pour les bétons à performances rapides ;
- 4 à 6 heures pour les bétons spéciaux à base de ciment alumineux fondu ou du ciment prompt naturel.

5. Réalisation d'une couche d'assises en béton poreux

Le béton poreux est un matériau pour couche d'assises comportant un réseau de vides communicants entre eux et avec l'extérieur. Ces vides, d'une taille suffisante, permettent à l'eau d'y être stockée temporairement, d'y circuler et d'être évacuée vers un exutoire et ce de façon durable. Pour obtenir ces vides de façon permanente, on utilise des granulométries fortement discontinues et on limite la proportion du mortier. Ces vides sont le fait de la composition du béton et non d'un serrage insuffisant. Du fait de leur utilisation en couche d'assises, les bétons poreux jouissent de spécifications moins contraignantes que les bétons drainants et il offrent, en particulier, la possibilité :

- d'utiliser de gros granulats ;
- de réduire le dosage en ciment (par exemple 150 kg/m³).

L'essentiel étant d'obtenir une porosité ouverte importante ainsi que des résistances mécaniques comparables à celles des graves traitées aux liants hydrauliques.

5.1 - Textes de référence

Il existe quatre documents de référence relatifs à la réalisation d'une couche d'assises en béton poreux :

- guide technique, *Chaussées en béton*, SETRA/LCPC, 1997 ;
- guide technique, *Chaussées urbaines en béton*, CERTU - LCPC - IVF, 1996 ;
- guide technique, *Chaussées poreuses urbaines*, CERTU, 1999 ;
- norme NF P 98-170 « Chaussées en béton de ciment – Exécution et contrôle ».

5.2 - Fabrication et transport

Le béton poreux est composé :

- d'une faible quantité de sable 0/5 mm : 100 à 200 kg/m³ ;
- de gravillons concassés : 20/40 mm ;

- de ciment CEM I ou CEM II de classes 32,5, 42,5 ou 52,5 avec un dosage de l'ordre de 150 à 250 kg/m³ ;
- de l'eau ;
- de l'adjuvant entraîneur d'air ;
- de l'adjuvant type super plastifiant ou colloïde pour améliorer l'adhérence du mortier sur les granulats pendant le transport et la mise en œuvre.

Avec une telle formulation, la porosité du béton poreux peut être d'environ 20 à 30 %. La fabrication de ce matériau ne pose aucun problème particulier. Elle peut se faire soit en centrale discontinue de malaxage – de chantier ou d'usine de béton prêt à l'emploi – soit en centrale continue type graves traitées aux liants hydrauliques.

Le transport du matériau peut se faire soit en camions-bennes (système de transport adapté plus particulièrement aux bétons fermes et très fermes), soit en bétonnières portées (système de transport adapté plus particulièrement aux bétons plastiques et très plastiques).

5.3 - Mise en œuvre du béton poreux

La mise en œuvre du béton poreux ne peut pas être faite à l'aide du matériel habituel de construction des revêtements en béton dense, c'est-à-dire en utilisant le serrage par vibration interne.

En effet, celle-ci conduit – du fait de la porosité élevée – à une ségrégation importante du mortier, provoquant la fermeture totale du matériau en bas de couche et sa disparition totale en haut de couche.



Mise en œuvre du béton poreux.

Il est donc conseillé d'utiliser un matériel serrant le matériau soit par compactage soit par vibration superficielle. La maniabilité du matériau doit alors être adaptée à l'énergie de serrage utilisée. Seules l'expérience et les épreuves de convenue permettent de définir précisément la teneur en eau optimale pour chacun des modes de mise en place.

■ 5.3.1 - Influence des conditions climatiques

L'entreprise doit se tenir informée des conditions météorologiques afin de prendre les dispositions nécessaires en cas de gel, de forte chaleur, de vent ou de pluie (voir la fiche-type « Béton dense »).

■ 5.3.2 - Bétonnage

La mise en œuvre du béton poreux peut se faire de deux façons :

- répannage et compactage dans des conditions et avec un matériel semblable à ceux utilisés pour les graves traitées aux liants hydrauliques (niveleuses et compacteurs) ;
- mise en œuvre au finisseur par couche de 15 à 17 cm maximum.



Mise en œuvre du béton poreux à la niveleuse et au compacteur.

Nota

L'utilisation d'un finisseur à table HPC (Haut Pouvoir de Compactage) procure les meilleurs résultats en matière d'uni. Toutefois, pour une couche d'assises, un finisseur normal est tout à fait convenable.

■ 5.3.3 - Exécution des joints

Le béton poreux fera l'objet d'un calepinage s'il est surmonté d'un béton dense. Dans ce cas il faut réaliser les joints du revêtement béton à l'aplomb des joints réalisés dans le béton poreux. Ces derniers sont réalisés par moulage ou sciage.

6. Réalisation d'un revêtement en béton drainant

Le béton drainant est un matériau pour couche de roulement comportant un réseau de vides communicants entre eux et avec l'extérieur. Ces vides, d'une taille suffisante, permettent à l'eau d'y être stockée temporairement, d'y circuler et d'être évacuée vers un exutoire, et ce de façon durable. Pour obtenir ces vides de façon permanente, on utilise des granulométries fortement discontinues et on limite la proportion du mortier. Ces vides sont le fait de la composition du béton et non d'un serrage insuffisant.

*Aspect de surface
d'un béton drainant.*



6.1 - Textes de référence

Il existe deux documents de référence relatif à la réalisation d'un revêtement en béton drainant :

- guide technique *Chaussées en béton*, SETRA/LCPC, 1997 ;
- norme NF P 98-170 « Chaussées en béton de ciment – Exécution et contrôle ».

6.2 - Fabrication et transport

Le béton drainant est composé :

- d'une faible quantité de sable 0/2 mm : 60 à 120 kg/m³ ;
- de gravillons concassés : 6/10 ou 10/14 ou 10/20 ;
- de ciment CEM I ou CEM II de classes 32,5, 42,5 ou 52,5 avec un dosage de l'ordre de 300 à 400 kg/m³ ;
- de l'eau : 70 à 100 l/m³ ;
- de l'adjuvant entraîneur d'air ;
- de l'adjuvant type super plastifiant ou colloïde pour améliorer l'adhérence du mortier sur les granulats pendant le transport et la mise en œuvre.

Avec une telle formulation, la porosité du béton drainant peut être d'environ 15 à 20 %. La fabrication de ce matériau ne pose aucun problème particulier. Elle peut se faire soit en centrale discontinue de malaxage – de chantier ou d'usine de béton prêt à l'emploi – soit en centrale continue type graves traitées aux liants hydrauliques. Le transport du matériau se fait en général en camions-bennes.

6.3 - Mise en œuvre du béton

La mise en œuvre du béton drainant ne peut être faite à l'aide du matériel habituel de construction des revêtements en béton dense, c'est à dire en utilisant le serrage par vibration interne. En effet, celle-ci conduit – du fait de la porosité élevée – à une ségrégation importante du mortier, provoquant la fermeture totale du matériau en bas de couche et sa disparition totale en haut de couche. Il est donc conseillé d'utiliser un matériel serrant le matériau soit par compactage soit par vibration superficielle. La maniabilité du béton doit alors être adaptée à l'énergie de serrage utilisée. Seules l'expérience et les épreuves de convenance permettent de définir précisément la teneur en eau optimale pour chacun des modes de mise en place.

■ 6.3.1 - Influence des conditions atmosphériques

L'entreprise devra se tenir informée des conditions météorologiques afin de prendre les dispositions nécessaires en cas de pluie, vent, forte chaleur ou gel (voir la fiche type « béton dense »).

■ 6.3.2 - Matériels de mise en œuvre

La mise en œuvre du béton drainant peut se faire de trois façons :

- répandage et compactage dans des conditions et avec un matériel semblables à ceux utilisés pour les graves traités aux liants hydrauliques : niveleuse et compacteurs ;
- mise en œuvre au finisseur ;
- mise en œuvre au finisseur à table HPC (Haut Pouvoir de Compactage) si l'épaisseur de la couche de béton drainant est supérieure à 7 cm.



Mise en œuvre du béton drainant au finisseur.

Nota

Pour obtenir un uni satisfaisant le finisseur à enrobé est actuellement le matériel le mieux adapté pour mettre en œuvre le béton drainant. La mise en œuvre se fait par couches de 15 à 17 cm maximum sans compactage ultérieur.

■ 6.3.3 - Exécution des joints

Pour le revêtement en béton drainant, compte tenu de la difficulté de mouler un joint dans un matériau à forte porosité, il est plus judicieux de scier les joints. Cette opération doit se faire dans un délai allant de 6 h à 48 h après le bétonnage. Ce délai est fixé en tenant compte de la formulation du béton et des conditions atmosphériques régnant au moment de la mise en œuvre. L'espacement des joints est le même que celui d'un revêtement en béton dense (voir le tableau 23).

■ 6.3.4 - Cure du béton drainant

Comme tous les matériaux traités aux liants hydrauliques, le béton drainant doit recevoir, aux jeunes âges, une protection efficace. Compte tenu de la porosité ouverte du matériau, l'utilisation du traditionnel produit de cure n'est pas adaptée. Pour un revêtement en béton drainant, la protection est assurée en recouvrant la surface du revêtement par un film en polyéthylène qui sera maintenu en place pendant 2 à 3 jours.

7. Réalisation d'un revêtement modulaire en béton

Un revêtement modulaire en béton est constitué de produits manufacturés en béton (pavés et dalles). Ces produits peuvent être imperméables ou perméables. Dans le premier cas, le drainage est assuré par les joints et, dans le second cas, le drainage est assuré conjointement par la porosité du produit et par les joints.

7.1 - Textes de référence

Il existe trois documents de référence relatifs à la réalisation d'un revêtement modulaire en béton :

- fascicule 29 du CCTG, *Travaux, construction, entretien des voies, places et espaces publics, pavés et dallés en béton ou en roche naturelle* ;
- norme NF P 98-335 « Mise en œuvre des pavés et dalles en béton, des pavés en terre cuite et des pavés et dalles en pierre naturelle » ;
- guide, *Aménagements urbains et produits de voirie en béton – conception et réalisation*, FIB – CIMBÉTON – CERIB – LCPC – IVF – CERTU.



*Chaussées réservoir
avec revêtement en pavés.*

7.2 - Approvisionnement et stockage

La technique de fabrication des pavés et dalles et leur contrôle permettent d'obtenir un revêtement esthétique d'une durabilité excellente sous réserve que les manipulations avant la pose n'altèrent en rien les caractéristiques du produit et que leur pose soit satisfaisante. Ces considérations imposent un minimum de soins lors du déchargement des produits, de leur stockage et de leur distribution sur le chantier.

Le déchargement s'effectuera de préférence mécaniquement à l'aide d'un engin de levage adapté aux conditionnements des produits : transpalette, fourche, pince autoserrante. Les quantités de matériaux à approvisionner seront légèrement supérieures aux quantités mesurées pour tenir compte, entre autres, des coupes prévues dans le calepinage et de la constitution d'un stock de maintenance.

Le déchargement des pavés ou leur distribution sur le chantier sera effectuée sur le pavage déjà réalisé. En général, les dalles sont livrées cerclées ; elles sont alors déchargées sur le chantier par pinces autoserrantes à l'aide d'un engin de levage. Une fois déchargées, les dalles doivent être rangées sur chant et isolées du sol (par exemple grâce à des baguettes de bois).

7.3 - Mise en œuvre des pavés en béton

Le comportement du revêtement sous l'effet des charges verticales et des efforts horizontaux est directement lié aux caractéristiques du revêtement et de sa mise en œuvre. Compte tenu des efforts horizontaux (freinage, accélération, virages, carrefours, etc.), l'influence de la technique de pose est fondamentale. Il convient d'apporter un soin particulier à la réalisation des étapes suivantes :

- blocage des rives ;
- réalisation du lit de pose ;
- pose des pavés ;
- appareillage des pavés ;
- réalisation des joints ;
- travail sous circulation ;
- mise en service.

■ 7.3.1 - Le blocage des rives

Le soin apporté à la réalisation de cette phase est essentiel. L'importance du système de blocage à mettre en œuvre est fonction du niveau des efforts horizontaux prévisibles et donc de la nature du trafic. Le plus souvent, ce blocage peut être réalisé au moyen de bordures et/ou de caniveaux en béton préfabriqués ou au moyen d'une longrine en béton coulé en place (figures 26 et 27).

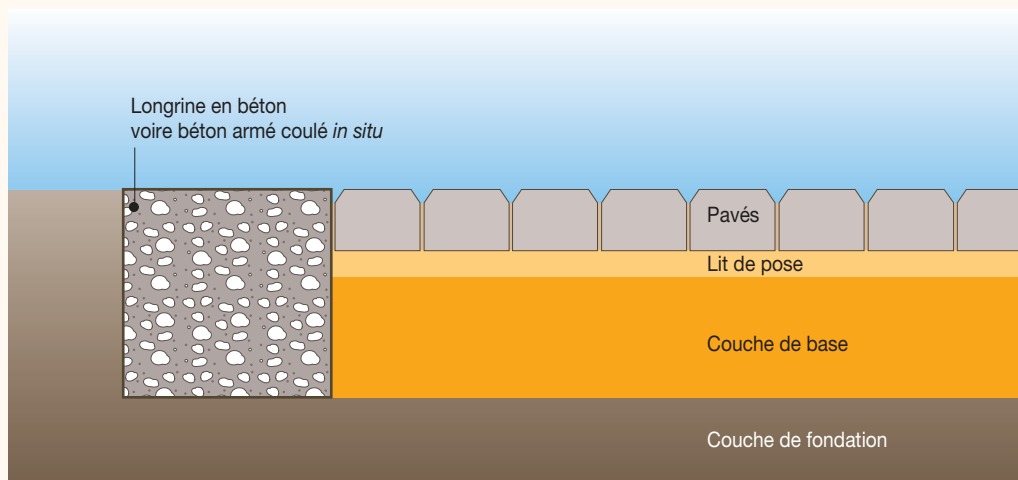
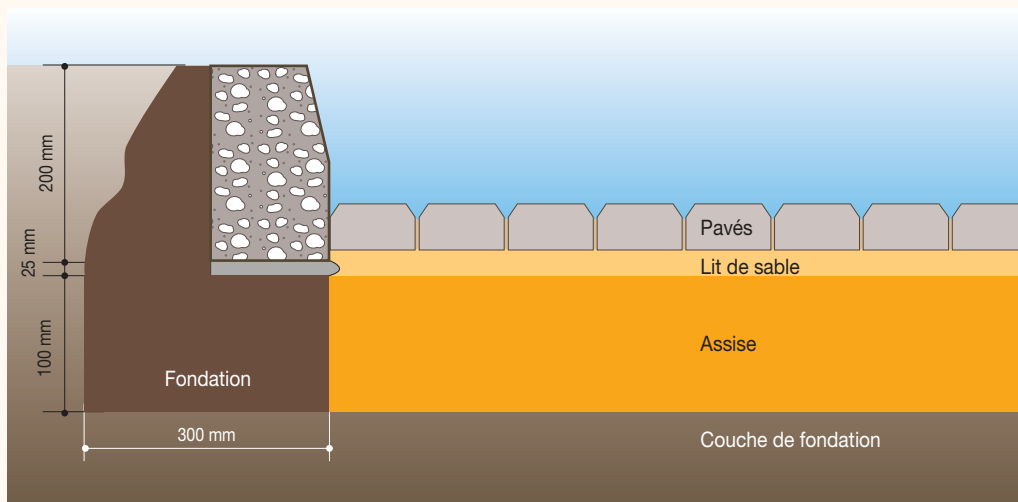


Figure 26 et 27 : exemples de blocages de rives.

■ 7.3.2 - La réalisation du lit de pose

Le lit de pose doit avoir une épaisseur nominale de 3 cm plus ou moins 1 cm. Elle doit être constante pour éviter les risques de tassements différentiels (figure 28), en particulier dans les zones de vibration, de circulation intense et en cas d'infiltrations qui entraînent les fines – ce qui implique que la pente de la couche d'assise soit la même que celle du revêtement final. Une réception altimétrique de la couche d'assise est à réaliser contradictoirement avant tout autre intervention. En outre, la couche d'assise poreuse doit être recouverte d'un géotextile pour éviter la migration du sable.

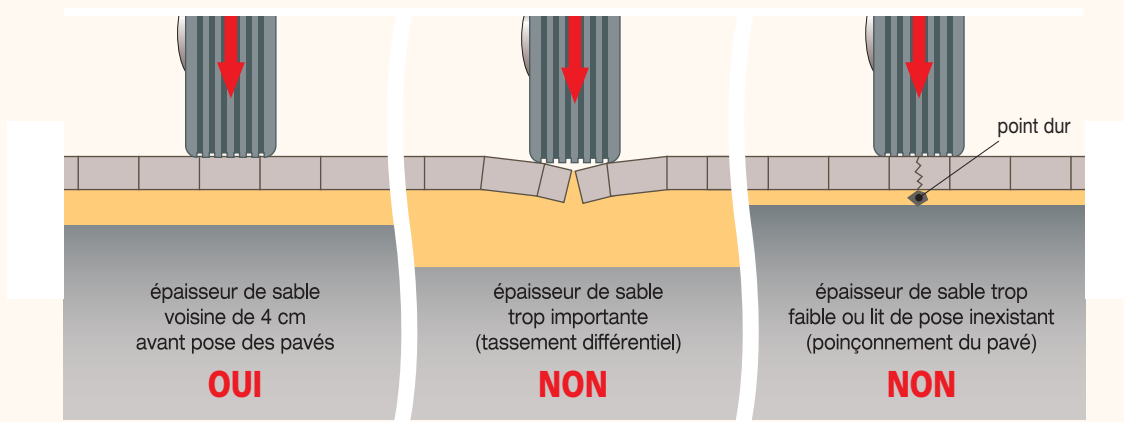


Figure 28 : dispositions constructives pour le lit de pose.

Le lit de pose, nivelé à la règle, est réalisé à l'avancement ; il n'est pas compacté. Il est impératif de ne pas détruire sa planéité, par exemple en marchant dessus, le paveur se tenant sur les pavés posés. Un lit de pose réglé avec soin facilite la pose des pavés et évite notamment les défauts de planéité du revêtement final.

Le choix du matériau constituant le lit de sable doit être guidé de préférence vers des sables de bonne qualité (dureté), siliceux ou silico-calcaires, propres, de granulométrie continue (0/5) et exempts d'éléments argileux ou organiques ($PS > 60^\circ$). En cas de réalisation sur des zones fortement sollicitées (rampe importante, courbe, présence d'eau, technique de nettoyage agressive, etc.), la pose doit être effectuée sur sable stabilisé. Ce matériau est obtenu par incorporation d'un ciment dans le sable de pose sans apport d'eau. Le dosage en ciment (par exemple CEM II/A 32,5 N) est compris entre 100 et 150 kg/m³.

Nota

La pose des pavés sur mortier est à proscrire.

■ 7.3.3 - La pose des pavés

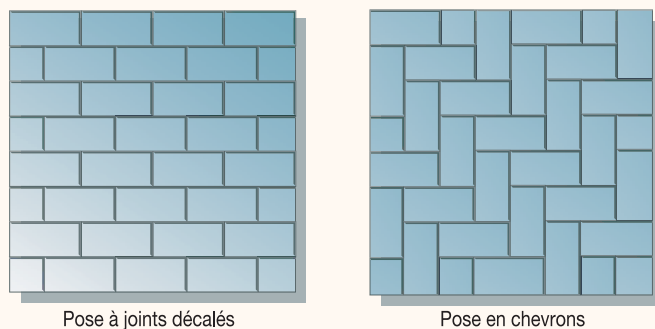
La pose proprement dite s'effectue, le poseur ou la machine étant face à l'avancement, c'est-à-dire placé sur le travail déjà réalisé. Les pavés sont posés bord à bord, à joints aussi serrés que possible (le cas échéant les écarteurs en contact). D'une façon générale et particulièrement pour les ouvrages de dimensions importantes, il est nécessaire de vérifier la rectitude et le parallélisme des rangs de pavés au moins tous les 4 à 5 m.



Pose des pavés à la machine.

■ 7.3.4 - L'appareillage des pavés

La disposition des pavés les uns par rapport aux autres doit être réalisée de telle sorte qu'elle n'entraîne pas la formation d'une ligne de joints droite continue dans le sens principal de la circulation. Les appareillages les plus performants correspondent aux pavés posés à joints décalés (la ligne de joints est perpendiculaire au sens du trafic) et aux pavés posés en chevrons ou aux pavés posés de telle sorte que la ligne de joints continue soit la plus courte possible, en particulier dans le ou les sens principaux de la circulation (figure 29).



Pose à joints décalés

Pose en chevrons

Figure 29 : exemples d'appareillage de pavés.

■ 7.3.5 - La réalisation des joints

Lorsque la pose des pavés est contrôlée et terminée, les joints sont remplis très soigneusement de sable par balayage. Ce sable, différent de celui utilisé pour la réalisation du lit de pose, doit être de bonne qualité et de granulométrie compatible avec la largeur minimale des joints (par exemple un sable 0/1), tout en étant étalée afin de lui assurer une bonne compacité en place. Les sables à granulométrie resserrée (par exemple : sable de dune) ne sont pas utilisés. Les joints peuvent être réalisés au sable stabilisé dans les mêmes conditions. En revanche, le scellement des joints au mortier est à proscrire.

Un compactage est réalisé après le remplissage des joints et le balayage des excédents de sable en surface. Un matériel de compactage dynamique tel que dame ou cylindre avec semelle ou jante caoutchoutée est recommandé. Dans le cas de rives bloquées, il est préférable de compacter en premier lieu le centre de la surface en progressant vers les rives.

Après chaque passage du compacteur, les joints doivent être à nouveau garnis de sable et la planéité constamment vérifiée. Si besoin, des opérations du regarnissage complémentaire des joints doivent être envisagées après ouverture à la circulation.

■ 7.3.6 - *Travail sous circulation*

Dans le cas exceptionnel où les travaux sont effectués sous circulation, le pavage est réalisé par demi-voie, une zone de 50 cm minimum exécutée en première phase étant reprise dans la deuxième partie des travaux ou en réalisant un blocage de rive efficace lors de la première phase.

■ 7.3.7 - *Mise en service*

Elle s'effectue dès que le garnissage des joints a été achevé. Des garnissages complémentaires, après mise en service, peuvent se révéler nécessaires.

7.4 - Mise en œuvre des dalles en béton

La mise en œuvre des dalles peut présenter plusieurs cas :

- technique de pose sur lit de sable ou sable stabilisé ;
- technique de pose sur mortier ;
- technique de pose sur plots...

Dans le cas d'une circulation de véhicules de plus de 3,5 t, la pose sur mortier est à proscrire.

Technique de pose sur lit de sable

Dans ce cas, les facteurs d'un bon comportement du revêtement sont décrits pour chacune des étapes suivantes :

- blocage des rives ;
- réalisation du lit de pose ;
- pose des dalles ;
- réalisation des joints ;
- travaux sous circulation ;
- mise en service.

7.4.1.1 - Le blocage des rives

Pour s'assurer la bonne tenue du dallage, il est impératif, en particulier dans le cas d'efforts horizontaux, de lui assurer une butée en rive réalisée par exemple par des bordures scellées, ou encastrées dans la fondation, soit par des longrines en béton.

7.4.1.2 - La réalisation du lit de pose

L'épaisseur du lit de pose est aussi faible que possible après compactage (2 à 4 cm) tout en évitant les contacts directs de la dalle avec l'assise (points durs). À cet égard, la figure 30 illustre ce qu'il convient de réaliser et ce qu'il faut éviter.

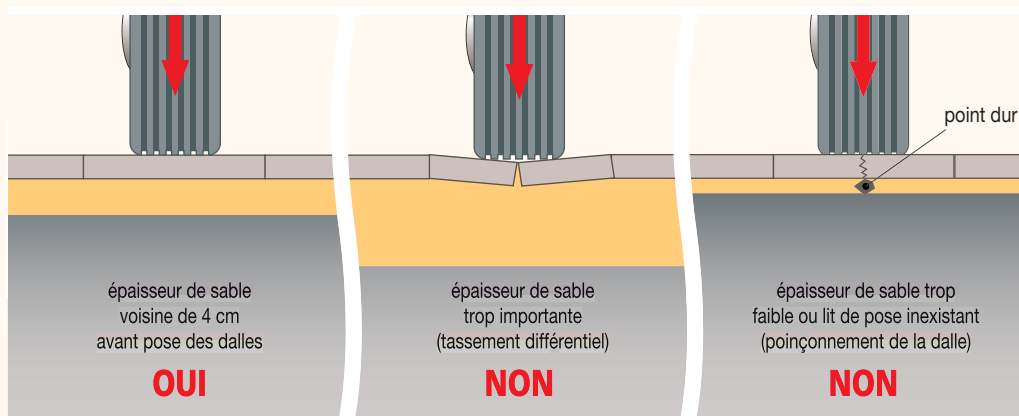


Figure 30 : disposition constructive pour le lit de pose.

Le lit de pose nivelé à la règle (métal léger, bois ou madrier droit) est réalisé à l'avancement. Il n'est pas compacté. Il est impératif de ne pas détruire sa planéité, par exemple en marchant dessus. Un lit de pose réglé avec soin facilite la pose des dalles et évite notamment les défauts de planéité du revêtement final. La tolérance sur la régularité de surface (planéité) ne doit pas excéder 1 cm à la règle de 3 m.

Le choix du matériau constituant le lit de pose doit être guidé de préférence vers des sables de bonne qualité (dureté), siliceux ou silico-calcaires, propres, de granulométrie continue (0/5) et exempts d'éléments argileux ou organiques.



Pose par ventouses.

● 7.4.1.3 - La pose des dalles

La pose proprement dite s'effectue, le poseur étant face à l'avancement, c'est à dire placé sur le travail déjà réalisé, en veillant à ne pas détruire la planéité du lit de pose, par exemple en circulant dessus. Les dalles sont affermies vigoureusement à l'aide d'un outil approprié. D'une façon générale, et particulièrement pour les ouvrages de dimensions importantes, il est nécessaire de vérifier la rectitude et le parallélisme des rangs de dalles au moins tous les 4 à 5 m.

● 7.4.1.4 - La réalisation des joints

Lorsque la pose des dalles est contrôlée et terminée, les joints sont remplis soigneusement de sable ou de sable stabilisé par balayage. Ce sable sera de bonne qualité et de granulométrie compatible avec la largeur minimale des joints (par exemple 0/1). La granulométrie du sable sera étalée afin de lui assurer une bonne compacité en place. Les sables à granulométrie trop resserrée (par exemple le sable de dune) ne seront pas utilisés.

Le garnissage est effectué à refus. La surface de l'ouvrage est ensuite balayée afin de la débarrasser des granulats en excédent sur les dalles. Si besoin, des opérations de regarnissage complémentaire des joints doivent être envisagées après ouverture à la circulation.

Dans le cas d'une pose sur lit de sable, le remplissage des joints par mortier est une erreur car dans ce cas les joints ne peuvent plus absorber les déformations subies par les dalles désolidarisées de la couche de pose.

Remarque

Dans le cas particulier des dalles de grandes dimensions (supérieur à 1 m x 1 m), généralement d'une épaisseur plus importante, le lit de pose, d'environ 8 cm d'épaisseur, compacté et réglé fin peut être constitué soit de gravillons concassés, soit de sable dont les caractéristiques et les fuseaux sont précisés par le fabricant.

La pose des dalles, s'effectue à l'aide d'un engin de capacité suffisante, équipé soit d'un palonnier muni de clés de manutention, soit de ventouses. Entre les dalles, le joint d'environ 5 mm est rempli de sable fin, à l'avancement et en fin de chantier (figure 31).

Il est à noter que la grande dimension des dalles, ainsi que le lit de pose en gravillons concassés assurent une très bonne répartition des surcharges sur l'assise.

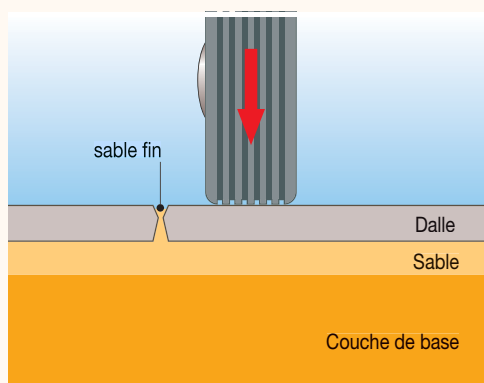


Figure 31 : dispositions constructives du lit de pose pour les dalles de grandes dimensions.

● 7.4.1.5 - Travail sous circulation

Dans le cas exceptionnel où les travaux sont effectués sous circulation, le dallage est réalisé par demi-voie, une zone de 50 cm minimum exécutée en première phase étant reprise dans la deuxième partie des travaux ou en réalisant un blocage de rive efficace lors de la première phase.

● 7.4.1.6 - Mise en service

Elle s'effectue dès que le garnissage des joints a été achevé. Des garnissages complémentaires, après mise en service, peuvent se révéler nécessaires.

■ **7.4.2 - Technique de pose sur lit de sable stabilisé**

Cette technique est une variante de la pose sur sable. Son application se justifie en cas de problèmes particuliers (forte pente, présence d'eau, technique de nettoyage agressive, etc.) lorsqu'il y a un risque de migration des fines sous l'action de l'eau. Ce matériau est obtenu par incorporation d'un ciment dans le sable de pose sans apport d'eau (par exemple CEM II/A ou B 32,5 N). Le dosage en ciment est au plus égal à 150 kg/m³.

■ **7.4.3 - Technique de pose sur mortier**

Dans ce cas, les facteurs d'un bon comportement du revêtement sont décrits pour chacune des étapes suivantes :

- réalisation du lit de pose ;
- pose des dalles ;
- réalisation des joints.

● 7.4.3.1 - La réalisation du lit de pose

L'épaisseur du lit de pose en mortier est au minimum de 3 cm. Le dosage en ciment (par exemple : CEM II/A ou B 32,5 N) est au minimum de 250 kg par m³ de sable sec. Il est également possible d'utiliser un mortier bâtard.

Le mortier est préparé ou approvisionné au fur et à mesure de l'avancement. L'emploi de mortier desséché ou ayant commencé à faire prise est interdit.

● 7.4.3.2 - La pose des dalles

Les dalles sont humidifiées avant la pose qui s'effectue sur mortier frais avec des joints de 6 à 8 mm.

Elles sont soumises, aussitôt après mise en place, à une pression vigoureuse destinée à rendre aussi uniforme que possible l'appui de la sous-face sur le mortier.

● 7.4.3.3 - La réalisation des joints

Les joints, dont l'épaisseur est de 6 à 8 mm, sont réalisés en coulis de ciment à raison de 800 à 1 100 kg de ciment par m³ de sable sec. Des joints larges peuvent être également réalisés au mortier de ciment à raison de :

- 350 à 400 kg de ciment par m³ de sable sec pour les joints balayés ou finis à l'éponge ;
- 400 à 600 kg de ciment par m³ de sable sec pour les joints lissés à la truelle ou tirés au fer.

Après réalisation des joints, il convient de faire le nettoyage du revêtement afin d'éviter tout voile ou dépôt de coulis ou de mortier. Le mortier des joints est réalisé à partir d'un sable de granulométrie compatible avec la largeur des joints. Le coulis de ciment est réalisé avec un sable fin (0,08/1mm, par exemple).

Dans le cas d'une pose sur mortier, il convient de réaliser des joints de dilatation. Ces joints, qui doivent intéresser toute l'épaisseur du revêtement et du lit de pose, sont distants d'environ 10 m. Leur largeur est voisine de 1 cm. Ils sont garnis d'un matériau compressible (par exemple : bitume, polymère, néoprène...).

Le délais de remise en circulation, y compris la circulation de chantier, doit être fixé par le CCTP et est en général de sept jours.

■ 7.4.4 - Technique de pose sur plots

Le maître d'œuvre doit s'assurer que les résistances des plots et des dalles sont adaptées à la destination visée.

La pose doit être réalisée avec soin en veillant en particulier à ce que les dalles reposent bien sur leurs 4 angles afin d'éviter les phénomènes de boitement.

Pour les applications en protection d'étanchéité, il convient de se reporter soit aux spécifications de la norme NF P 84-204 « DTU 43.1. Travaux de mise en œuvre. Travaux d'étanchéité des toitures-terrasses avec éléments porteurs en maçonnerie », soit au *Guide technique spécialisé des systèmes d'étanchéité des toitures-terrasses avec protection par dalles sur plots* approuvé par le Groupe Spécialisé n°5 (document disponible au CSTB).

*Dalle béton sur plots :
composante essentielle
dans la création
des espaces urbains.*



■ 7.4.5 - Cas de points singuliers

À proximité des éléments fixes existants, tels les regards, des solutions telles que le mortier coloré ou lavé, les éléments de petites dimensions, permettent d'éviter les coupes parfois délicates à réaliser et préservent l'esthétique générale du revêtement.



Chapitre

7

La qualité, les contrôles et la maintenance

1 - Qualité de la conception

2 - Contrôles des travaux

3 - Maintenance

1. Qualité de la conception

Les chaussées à structures réservoirs doivent assurer quatre fonctions de base :

- la circulation (véhicules et piétons) ;
- le recueil des eaux pluviales ;
- le stockage temporaire de ces eaux ;
- leur évacuation progressive.

Pour les assurer, comme indiqué aux chapitres 3 et 5, le choix d'un concept adapté au site et le bon dimensionnement des structures sont primordiaux. La réalisation d'une chaussée réservoir demandera donc des études préalables sérieuses sur la topographie et la nature du sol-support, la quantité d'eau à stocker, les débits possibles d'évacuation, le trafic à assurer, les risques de pollution par et pour l'environnement, ainsi que les évolutions possibles de cet environnement.

2. Contrôles des travaux

2.1 - Vérifications préalables

Parce qu'il est toujours difficile et délicat d'intervenir par la suite, le bon état des réseaux existants doit être vérifié ou rétabli, et les réseaux prévus réalisés avant mise en œuvre de la chaussée à structure réservoir. De plus, le bon fonctionnement du principe retenu pour l'évacuation progressive des eaux sera testé : dimensionnement et état du réseau d'eaux pluviales structuré ou aérien (fossés), perméabilité du sol support...

2.2 - Contrôles

■ 2.2.1 - Contrôles de la portance de la plate-forme

La portance doit être conforme aux hypothèses prises pour le calcul de dimensionnement mécanique. Elle se mesure à partir d'une des trois méthodes suivantes :

- essai à la dynaplaque ;
- essai de plaque ;
- essai de déflexion.

■ 2.2.2 - Contrôles de la grave non traitée poreuse (GNTP) d/D

Avant sa mise en œuvre, la GNTP sera identifiée par une vérification des bons de livraison. Le compactage sera effectué selon la procédure prévue au plan d'assurance qualité : matériel de compactage et nombre de passes. Elle devra supporter la circulation des engins de chantier sans orniérage ni flashes. Le contrôle de la planéité de surface sera réalisé à la règle de 3 mètres.

Dans le cas où la couche de roulement est prévue en matériaux modulaires, le profil de surface (pente et dévers) de la GNTP devra être le même que celui de la chaussée terminée. Pour en faciliter le réglage, la mise en œuvre en surface d'une couche de GNTP de faible granulométrie (4/14 par exemple) sera judicieuse.

■ 2.2.3 - Contrôle des bétons

Dans la mesure du possible, les bétons seront approvisionnés depuis des usines de béton prêt à l'emploi titulaires du droit d'usage de la marque NF. Si les bétons sont approvisionnés depuis une centrale non titulaire de la marque NF, ou depuis une centrale de chantier, celle-ci devra posséder les équipements permettant d'effectuer le contrôle interne à la chaîne de production (type B de la norme NF P 98-730). Dans tous les cas, les bétons drainants et poreux devront faire l'objet d'une épreuve de convenance.

● 2.2.3.1 - Contrôles sur béton dense

Tous ces contrôles font l'objet de procédures normalisées.

- Contrôles avant mise en œuvre (valables pour le béton dense) :
 - vérification des bons de livraison et des bons de pesée ;

- mesure de plasticité au cône d'Abrams ;
- mesure d'air occlus ;
- mesure de résistance mécanique.

- Contrôles à la mise en œuvre :
 - mesure de l'épaisseur (nivellement, jauge) ;
 - mesure du répandage du produit de cure.

- Contrôles sur travaux :
 - mesure de la macrotecture ;
 - mesure de l'uni ;
 - carottages pour contrôle des résistances mécaniques (si les résultats du contrôle sur éprouvettes sont insuffisants).

● 2.2.3.2 - Contrôles sur béton drainant et béton poreux

- Contrôles avant mise en œuvre :
 - récupération des bons de livraison et des bons de pesée ;
 - confection d'éprouvettes ;
 - mesure de résistance mécanique : compression et flexion ;
 - mesure de porosité et de perméabilité sur éprouvettes, selon norme NF P 98-254-2 ;
 - si le revêtement est en matériaux modulaires : réception des pavés et des dalles en béton.

- Contrôles à la mise en œuvre sur matériau en place :
 - mesure d'épaisseur ;
 - mesure de densité au gammadensimètre.

- Contrôles sur travaux :
 - mesure de perméabilité selon norme NF P 98-254-3 ;
 - mesure de l'uni ;
 - carottages pour mesure de la porosité et de la résistance mécanique.

Le tableau 24 propose une fréquence minimale des contrôles à effectuer par volume de béton mis en œuvre.



Drainomètre de chantier : mesure de la perméabilité.

Tableau 24 : fréquence minimale des contrôles sur le béton

Volume de béton	< 100 m ³	100 à 500 m ³	> 500 m ³
Plasticité ou stabilité	1 essai	1/100 m ³	2 essais/jour
Air occlus	pour mémoire		
Résistance mécanique	fabrication de 3 éprouvettes à conserver	fabrication et essai de 3 éprouvettes pour le chantier	fabrication et essai de 3 éprouvettes par jour
Porosité sur éprouvettes	mesure si les éprouvettes pour résistance mécanique sont testées	mesure sur éprouvettes de résistance mécanique	mesure sur éprouvettes de résistance mécanique
Produit de cure		1 essai pour réglage	1 essai pour réglage 2 mesures par jour
Densité en place au gammadensimètre Carottages pour mesure porosité et résistance mécanique		1 à 2 pour le chantier	1/400 m ²
Perméabilité		1 par chantier	1/400 m ²

3. Maintenance

Dans l'état actuel de nos connaissances, la maintenance d'une chaussée à structure poreuse consiste essentiellement en un entretien de surface et du réseau de collecte et d'évacuation. Étant donné leur fonction « écologique », les produits de décolmatage ou de décantation, ainsi que les matériaux éventuellement déposés pour travaux sous voirie, devront être traités avant mise en décharge.

3.1 - Cas de l'infiltration directe à travers une chaussée poreuse

■ 3.1.1 - Entretien préventif

● 3.1.1.1 - Pour les bétons drainants

L'entretien préventif consiste à éliminer par aspiration – sans balayage – la pollution de surface, le balayage faisant pénétrer les éléments fins de la pollution dans les vides du matériau.



Machine de nettoyage et décolmatage équipée de deux cloches d'hydroprojection.

● **3.1.1.2 - Pour les pavés et dalles en béton dense ou perméable**

Il faudra limiter la puissance et la fréquence des nettoyages par aspiration afin d'éviter un dégar-nissage rapide des joints.

■ **3.1.2 - Entretien curatif**

Il consiste à venir décolmater le revêtement drainant avant d'atteindre un colmatage complet (estimé par une perméabilité comprise entre 0,3 et 0,2 cm/s), avec des machines de traitement hydromécanique de surface. Elles décohesionnent la gangue de colmatant en projetant de l'eau sous forte pression (15 à 40 MPa) et en aspirent ensuite les boues ainsi formées. Ces dernières, qui peuvent présenter des teneurs élevées en micropolluants, doivent être traitées avant d'être mises en décharge comme indiqué plus haut.



Aspiratrice utilisée pour le nettoyage des surfaces rugueuses.



Détail du traineau d'aspiration des boues de décolmatage.

3.2 - Cas de la couche de roulement étanche

■ **3.2.1 - Entretien préventif**

Il consiste à nettoyer la surface fréquemment, par balayage et aspiration, de façon à réduire les risques de colmatage du système d'injection et de la structure poreuse. Les mêmes précautions qu'au paragraphe 3.1.1.2, pour les revêtements en pavés et dalles en béton, seront prises.

■ 3.2.2 - *Entretien curatif*

Il consiste, à l'aide d'une hydrocureuse, à nettoyer les regards et les caniveaux, et éventuellement à décolmater les drains du réseau d'infiltration.

3.3 - Nettoyage des taches (couches de roulement en matériaux modulaires, en béton coloré ou en béton désactivé)

Les taches devront être parfaitement identifiées en préalable à toute tentative de nettoyage.

- Pour les taches d'hydrocarbures, un brossage sous eau chaude additionnée de détergents, suivi d'un rinçage, donnera des résultats corrects si leur pénétration est faible. Dans le cas contraire, il faudra utiliser la technique du « cataplasme » qui consiste à appliquer sur les taches du talc que l'on sature avec du benzol ou du trichloréthylène ; après avoir laissé sécher, il faudra brosser et rincer abondamment.
- Les dépôts de gomme à mâcher sont enlevés par grattage ou décollés par refroidissement brutal du dépôt.
- Les taches de rouille sont traitées par un brossage avec une solution d'acide oxalique à 5 % suivi d'un rinçage abondant.
- Les taches de tannin sont traitées par un brossage à l'eau oxygénée suivi d'un rinçage.
- Les micro-organismes végétaux ou animaux sont traités par application d'une solution diluée d'eau de Javel suivie d'un rinçage.

3.4 - Travaux sous voirie (entretien d'anciens ou pose de nouveaux réseaux)

Pendant les travaux, il faudra protéger la structure poreuse à l'aide d'un géotextile pour éviter tout colmatage accidentel et, lors du remblayage des tranchées, la reconstituer à l'identique.



Chapitre

8

Le développement prospectif : les chaussées de demain

1 - Typologie des structures poreuses

2 - Concurrence entre les techniques

La lutte contre les nuisances, la recherche d'une sécurité accrue, la diminution de la gêne et l'obtention d'un ratio qualité/prix toujours plus performant, figurent parmi les préoccupations importantes exprimées par les populations très nombreuses des grandes agglomérations des pays industrialisés. Pour être capable de répondre à cette demande avec toujours plus de pertinence, le concept de chaussée multifonction peut être décliné de manière plus ou moins large, les structures réservoirs en béton offrant à cet égard de très larges potentialités.

Le concept de chaussée multifonction sous-tend en effet que les objectifs assignés aux aires de circulation ne concernent plus uniquement les cinq qualités de base essentielles de durabilité, de sécurité, de confort, de disponibilité et d'économie. Aujourd'hui, la satisfaction des usagers passe par des qualités de service supplémentaires qui se déclinent en plus – esthétique, ambiance, propreté, sécurité perçue, etc. –, mais aussi en moins – nuisances, pollution, congestion, gênes de toute nature, etc.

Les chaussées poreuses urbaines (CPU) constituent une forme de réponse à ce type d'évolution. Leurs trois domaines d'action privilégiés sont la fonction réservoir (objet principal de ce document), la fonction d'atténuation du bruit et la fonction anti-aquaplanage. On peut mettre en œuvre tout ou partie de ces fonctions en jouant respectivement sur la nature et sur l'épaisseur des matériaux de surface et d'assise, qui répondent dans certaines conditions à l'ambition de réduction des nuisances précitées.

Nota

Dans son domaine de prédilection – les épaisseurs fortes – mais aussi plus récemment, dans des conditions bien déterminées – les épaisseurs moyennes – le béton de ciment peut être d'un apport significatif pour concrétiser une structure type.

1. Typologie des structures poreuses

Une classification des structures de voirie multifonction a été établie (tableau 25), qui permet d’aller plus ou moins loin dans le nombre de fonctions à traiter. Des progrès sont encore à accomplir, mais l’on commence à savoir traiter correctement les nuisances dues au bruit et celles dues à l’eau des précipitations (inondations, glissance, éclaboussures, éblouissement, déplacement de pollution, salissures, etc.) qui correspondent précisément aux gênes le plus souvent citées par les usagers et riverains des voiries.

Tableau 25 : typologie des structu

Revêtement poreux				Revêtement compact	Structure sandwich	
Porosité du revêtement (vides totaux)	Mince 3-4 cm	Moyen 6-10 cm	Épais 15-20 cm			
Normale 15-20 % vides	CPU1 1-1 1-2	CPU2 2-1 2-2	CPU3 3-1 3-2	CPU10 	CPU11 	CPU12
	CPU4 4-1 4-2	CPU5 5-1 5-2	CPU6 6-1 6-2			
	CPU7 7-1 7-2	CPU8 8-1 8-2	CPU9 9-1 9-2			
Forte 20-28 % vides						
Très forte > 28 % vides						

Revêtement poreux

Revêtement compact

Assise poreuse

Assise compacte

La pertinence de cette multifonctionnalité, consistant à demander à nos voiries de jouer un rôle actif complémentaire aux qualités de base dévolues à une chaussée – sur le triple registre du bruit, du cycle de l'eau et de la sécurité des déplacements –, a été confirmée par quelques décisions réglementaires très importantes. Ces dernières ont marqué les procédures et règles de l'art en matière d'aménagement des zones d'habitation, ainsi que dans la conception des espaces publics et infrastructures de transport qui les irriguent.

1.1 - Domaine du bruit

La loi bruit n° 92.1444 du 31 décembre 1992, relative à la lutte contre le bruit (y compris celui des infrastructures de transports terrestres) a été dotée d'un ensemble de décrets, d'arrêtés et de circulaires permettant l'application effective des principes qu'elle édicte. Suivant un ordre logique, s'imposent depuis 1995 :

- l'obligation de recensement et de classement des infrastructures de transports terrestres dont le trafic journalier moyen annuel existant ou prévu est supérieur ou égal à 5 000 véhicules par jour, ou à 100 autobus par jour pour les lignes en site propre de transport en commun (décret n° 95.21 du 9 janvier 1995) ;
- la définition des secteurs affectés par le bruit situés au voisinage des infrastructures recensées dans une bande d'une largeur maximale de 300 mètres de part et d'autre de celles-ci, et les niveaux sonores que les constructeurs de bâtiments et de voiries sont tenus de prendre en compte (arrêté du 30 mai 1996) ;
- les méthodes de calcul à mettre en œuvre pour le classement sonore des infrastructures de transports terrestres – infrastructures routières, ferroviaires, lignes de tramways et de bus en site propre – (lettre circulaire du 25 juillet 1996) ;
- les règles à respecter en matière de limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres (décret n° 95.22 du 9 janvier 1995).

Le tableau 26 présente quelques aspects de ces dispositifs techniques et réglementaires, dont les incidences sont particulièrement importantes pour les constructeurs et les gestionnaires de voiries comme pour les promoteurs de bâtiments.

Tableau 26 : niveaux maximaux admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure nouvelle introduits dans l'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières			
USAGE ET NATURE DES LOCAUX	LAeq (6 h/22 h) (1)	LAeq (22 h/6 h) (1)	Désignation des symboles
Établissements de santé, de soins et d'action sociale (2)	60 dB(A)	55 dB(A)	LAeq : niveau de pression acoustique continu pondéré A pendant la période indiquée correspondant à la contribution sonore de l'infrastructure (norme NF S 31-110) Ce niveau est évalué à deux mètres en avant de la façade des bâtiments, fenêtres fermées
Établissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs)	60 dB(A)		
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	60 dB(A)	55 dB(A)	
Autres logements	65 dB(A)	60 dB(A)	
Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistence modérée	65 dB(A)		

1. Ces valeurs sont supérieures de 3 dB(A) à celles qui seraient mesurées en champ libre ou en façade, dans le plan d'une fenêtre ouverte, dans les mêmes conditions de trafic, à un emplacement comparable. Il convient de tenir compte de cet écart pour toute comparaison avec d'autres réglementations qui sont basées sur des niveaux sonores maximaux admissibles en champ libre ou mesurés devant des fenêtres ouvertes.

2. Pour les salles de soins et les salles réservées au séjour des malades, ce niveau est abaissé à 57 dB(A).

Il y a quelques années encore, les procédures officielles régissant l'évaluation et la réduction de la gêne due au bruit des infrastructures routières n'intégraient pas la nature et la qualité des revêtements, alors qu'aujourd'hui on sait concevoir, réaliser, entretenir et caractériser des revêtements « moins bruyants », voire « peu bruyants », dont certains peuvent offrir des différences de niveau de bruit de – 7 à – 8 dB(A) par rapport aux revêtements les plus utilisés dans des périodes encore proches où l'on ne s'inquiétait pas du bruit de roulement des véhicules (bétons bitumineux, enduits superficiels et bétons de ciment à forte granularité).

Le texte de la lettre circulaire du 25 juillet 1996 stipule : « Il existe des revêtements de chaussées plus ou moins bruyants dont l'influence peut être prise en compte pour l'évaluation de l'émission sonore. Les revêtements les plus bruyants peuvent ainsi être pénalisés : le cas très particulier des chaussées pavées fera

l'objet d'une correction forfaitaire de + 5 dB(A), le cas des chaussées en enduits superficiels à forte macrotexture ou revêtements striés, d'une correction forfaitaire de + 2 à + 3 dB(A). À l'inverse, des revêtements particulièrement étudiés pour minimiser le bruit à l'émission pourront, dès que des résultats fiables seront disponibles, être pris en compte si la performance annoncée est durable et constatée par des mesures représentatives des conditions d'emploi à long terme, et si les techniques d'entretien permettent également de maintenir les performances. Des précisions supplémentaires sur la prise en compte de l'influence des caractéristiques de ces revêtements pourront être apportées ultérieurement. »

Le principe de prise en compte de revêtements plus ou moins bruyants est donc validé ; il reste à en préciser les modalités sur des bases scientifiques et techniques sûres, et c'est ce à quoi contribuent entre autres les études et expérimentations sur les chaussées multifonctions.

1.2 - Domaine de l'eau

On se référera à la loi sur l'eau n° 92.3 du 3 janvier 1992, et aux décrets d'application n° 93.742 et 93.743, du 29 mars 1993 avec la modification du 17 juillet 2006, relatifs aux procédures et à la nomenclature des autorisations et déclarations prévues par la loi. Le principe de la loi se fonde sur la nécessité d'une gestion équilibrée de la ressource en eau sous tous ses aspects et sur l'ensemble de son cycle, afin de mieux satisfaire et concilier ses différents usages : protection contre les inondations, eau potable, agriculture, industrie, énergie, transport, tourisme, etc. Nous ne développerons pas davantage cet aspect qui a été l'objet du chapitre 2, l'important étant d'associer cette préoccupation avec les autres composantes de la multifonctionnalité.

1.3 - Domaine de la sécurité routière

Les registres législatifs et réglementaires ont été largement utilisés par le passé pour faire des progrès très significatifs dans ce domaine, et nous sommes sûrs aujourd'hui que pour progresser encore dans notre contexte, il faut jouer sur d'autres aspects comme celui de l'aménagement. Le principe est de provoquer spontanément chez les automobilistes des comportements, voire des réflexes de conduite apaisée à partir de la perception des espaces dans lesquels ils évoluent. Les voiries non dévolues exclusivement au trafic ne doivent pas ressembler à des autoroutes ou à des routes à fort trafic. Le choix d'un revêtement différent des revêtements routiers classiques, l'introduction de discontinuités de type calepinage qui ponctuent les aires d'évolution et les rendent harmonieuses par rapport aux bâtis, à la végétation, au mobilier urbain, sont des méthodes parmi d'autres techniques d'aménagement pour mieux faire cohabiter véhicules, poids lourds, transports en commun, deux-roues, piétons, riverains, chacun dans leur grande diversité de situations et d'attentes par rapport à la voirie. Dans cette logique, la contribution du béton de ciment est de plus en plus significative eu égard à la grande diversité des produits, des états de surface, des couleurs.

Pour marquer la différence entre la route et la rue, on a volontiers recours à des éléments modulaires en béton (pavages et dallages) en surface continue ou en surface composite, ainsi qu'à des bétons coulés désactivés imprimés ou boucharqués, qui contribuent à mettre en valeur des espaces publics multifonctions par essence avec un bon rapport qualité-prix.

On dispose, pour ces aménagements, de revêtements qualitatifs parmi les plus économiques, dont on vérifiera toutefois la bonne application tant en conception (cohérence avec le niveau de trafic) qu'au niveau de l'exécution. Une importante littérature technique, renouvelée ces dernières années, témoigne d'un nouveau partenariat entre prescripteurs, bureaux d'études, fournisseurs et applicateurs et permet d'utiliser à meilleur escient cette palette très riche de solutions qui favorisent, là encore, la multifonctionnalité par une hiérarchie différente des valeurs attribuées aux qualités requises pour les revêtements.

Les solutions béton structurent l'espace et améliorent sa lisibilité.





Le béton répond parfaitement aux exigences des carrefours giratoires : résistance, clarté, esthétique...

Enfin, en lien avec les opérations de sécurité, nous pourrions souligner le très grand développement de la solution « carrefour giratoire » de toute taille. Les plus récents bilans dans notre contexte semblent montrer une bonne adéquation aux objectifs de circulation et de sécurité en général, alors que les comportements mécaniques des structures de chaussée et des revêtements sont bien moins satisfaisants.

Les conditions d'exécution, avec reprise des anciennes structures pour partie, le phasage des chantiers sous circulation, les sollicitations horizontales et de cisaillement très spécifiques générées par les poids lourds en rotation, expliquent des pathologies et des durées de vie moyennes très faibles pour ces chaussées.

Des opérations prototypes en béton de ciment devraient permettre, tout en s'affranchissant des conditions d'exécution difficiles, de résoudre pour une part ce délicat problème qui engage, outre le patrimoine structurel, les caractéristiques et états de surface et par là même la sécurité routière. Dans un autre ordre d'idées, le traitement significatif des voies et arrêts de bus en béton classique ou béton de ciment mince collé sont des axes de développement très encourageants.

2. Concurrence accrue entre les techniques

Une condition favorable parmi d'autres au développement de voiries multifonctions est le constat d'un choix élargi, et une concurrence technique et économique accrue entre les techniques. En effet, il est mis à la disposition des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre des solutions techniques à la fois plus diversifiées et plus précises quant à leurs domaines d'emploi et à leurs sujétions d'exécution et de maintenance. Les revêtements et structures entièrement poreux risquaient d'apparaître, il y a quelques années, comme une sorte de monoculture de la chaussée réservoir peu bruyante et à haut niveau de confort et de sécurité. Aujourd'hui, on cerne mieux les limites d'emploi de ce concept, en particulier dans le domaine des revêtements drainants dans le cas des voiries urbaines des centres-villes, et on est capable de faire des structures et des revêtements peu bruyants voire très peu bruyants, avec des matériaux non poreux, en enrobé comme en béton de ciment. Moyennant le respect de certaines règles de discontinuité dans les formulations des mélanges et une granularité maximale de l'ordre de 6 à 8 mm, des matériaux denses très râpeux et présentant dans la durée de bonnes caractéristiques de surface peuvent être appliqués.

En conclusion, le panorama des préoccupations élargies que doivent aujourd'hui prendre en compte les concepteurs et les gestionnaires de voiries montre que le concept de « chaussée multifonction » devient de plus en plus fréquemment réalité dans le milieu urbain. Au travers des exemples cités quant à l'évolution des sensibilités et des procédures réglementaires dans le contexte français, il ressort que cette multifonctionnalité peut se décliner de bien des manières et à bien des niveaux.

Le contexte et l'environnement général confirment depuis 5 ans la pertinence de ces démarches vers des « chaussées autrement... », de manière à être prêt au bon moment. Les réflexions, les manifestations, les prises de conscience individuelles ou collectives du concept de développement durable progressent et il s'agit maintenant, pour beaucoup, d'œuvrer pour rendre ce concept opérationnel. Les pistes et résultats décrits dans la présente communication sont quelques portes d'entrée possibles, pourvu que l'on poursuive les efforts de recherche et d'expérimentation qui restent à faire dans ces domaines, et que les considérations économiques qui accompagnent nécessairement toute décision particulière et toute stratégie d'ensemble soient également empreintes du concept de multifonctionnalité (coût initial et coût pour la durée de service des différentes fonctions).



Chapitre

9

Annexes

1 - Glossaire

2 - Bibliographie

3 - Adresses utiles

1 - Glossaire

Filtration

Passage d'un fluide à travers un filtre qui arrête les particules solides.

Infiltration

Pénétration d'un fluide (eau) dans un sol et mouvement descendant de l'eau dans le terrain non saturé sous l'effet de la gravité et de la capillarité.

Percolation

Mouvement laminaire d'un fluide, notamment de l'eau, dans un milieu poreux saturé.

Perméabilité

Propriété d'un corps, d'un milieu, d'un terrain, d'être perméable, c'est-à-dire de laisser passer un fluide et en particulier l'eau à travers des pores.

Porosité totale

Pourcentage en volume de tous les vides du matériau.

Porosité ouverte ou communicante

Pourcentage en volume des vides du matériau qui communiquent entre eux et avec l'extérieur (cette porosité est inférieure de 2 à 5 points à la porosité totale pour un enrobé drainant ou en béton poreux).

Résurgence

Réapparition d'un fluide à la surface d'un matériau drainant lorsque ce dernier est saturé et (ou) que les conditions géométriques ou structurelles de ce dernier limitent l'écoulement interne du fluide.

Ruissellement

Écoulement par gravité d'un fluide (eau) à la surface d'un revêtement imperméable ou d'un revêtement drainant saturé selon la pente de celui-ci.

Tortuosité

Rapport entre la distance la plus courte, si elle l'était en ligne droite, que peut parcourir une onde sonore à l'intérieur d'un réseau poreux et la distance effectivement parcourue, pondérée par les changements de direction. Elle s'exprime par un nombre sans dimension et dépend du nombre, de la taille et de la forme des vides.

2 - Bibliographie

2.1 - Normes et fascicules

- NF EN 197-1** Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
- NF EN 206-1** Béton – Partie 1 : spécifications, performances, production et conformité et son annexe nationale.
- NF EN 12620** Granulats pour béton.
- XP P 18-545** Granulats, éléments de définition, conformité et codification.
- NF EN ISO 11819-1** Acoustique – Mesurage de l'influence des revêtements de chaussées sur le bruit émis par la circulation – Partie 1 : méthode statistique au passage.
- NF S31-119-2** Acoustique – Caractérisation *in situ* des qualités acoustiques des revêtements de chaussées – Mesurages acoustiques au passage – Partie 2 : procédure véhicule maîtrisé.
- NF P 98-082** Chaussées. Terrassements. Dimensionnement des chaussées routières. Détermination des trafics routiers pour le calcul de dimensionnement.
- NF P 98-086** Chaussées. Terrassements. Dimensionnement des chaussées routières. Éléments à prendre en compte pour le calcul de dimensionnement.
- NF P 98-115** Assises de chaussées - Exécution des corps de chaussées.
- NF EN 13285** Graves non traitées – Spécifications.
- NF P 98-134** Enrobés hydrocarbonés. Couches de roulement et couches de liaison : bétons bitumineux drainants. Définition, classification, caractéristiques, fabrication, mise en œuvre.
- NF P 98-170** Chaussées en béton de ciment. Exécution et contrôle.
- NF P 98-254-2** Essais relatifs aux chaussées. Mesure de propriétés liées à la perméabilité des matériaux. Partie 2 : détermination du pourcentage de vides communicants des matériaux liés.

- NF P 98-254-3** Essais relatifs aux chaussées. Mesure de propriétés liées à la perméabilité des matériaux des mélanges hydrocarbonés.
Partie 3 : essai au drainomètre de chantier.
- NF EN 1340** Éléments pour bordures de trottoir en béton – Prescriptions et méthodes d'essai.
- NF P98-340/CN** Éléments pour bordures de trottoir en béton – Prescriptions et méthodes d'essai – Complément national à la NF EN 1340 : produits industriels en béton - Bordures et caniveaux - Profils.
- NF EN 1338** Pavés en béton - Prescriptions et méthodes d'essai.
- NF EN 1339** Dalles en béton - Prescriptions et méthodes d'essai.
- NF P 98-335** Mise en œuvre des pavés et dalles en béton, des pavés en terre cuite et des pavés et dalles en pierre naturelle.

Fascicule 25 du CCTG, *Exécution des corps de chaussées*.

Fascicule 28 du CCTG, *Exécution des chaussées en béton hydraulique*.

Fascicule 29 du CCTG, *Travaux, construction, entretien des voies, places et espaces publics, pavés et dallés en béton ou en roche naturelle*.

« La ville et son assainissement : principe, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau », CERTU, 2003.

2.2 - Textes

Balades J.-D., Raimbault G., *Urbanisme et assainissement pluvial*, BL LPC n° 170, 1990.

Baucheron de Boissoudy A., *Dimensionnement mécanique des chaussées-réservoirs*, Stage ENPC, 25 au 27/05/1993.

Beaumont J., Guillard Y., Soulage D., *La méthode franco-allemande de mesure du bruit de roulement*, RGRA n° 677, 1990.

Brosseaud Y., *Spécificité des matériaux poreux*, Stage ENPC, 25 au 27/05/1993.

Delanne Y., *Les enrobés drainants : analyse de leur propriété vis-à-vis du bruit de roulement et de l'adhérence des pneumatiques des véhicules de tourisme*, BL LPC n° 162, 1989.

Delanne Y., Fauré B., *Qualités et performances des enrobés drainants et leur évolution*, RGRA numéro spécial printemps, 1990.

Faure B., Lemaire F., *Nettoyage et décolmatage des enrobés drainants en milieu urbain*, RGRA n° 677, 1990.

Gal J.-F., *Évolution de la perméabilité des enrobés drainants*, RGRA n° 702, LCPC - SETRA, 1992.

Chaussées neuves à faible trafic, Manuel de conception, 1981.

Legret M., Demare D., Balades J.-D., Madiec H., *Étude de la pollution par les métaux lourds sur un site d'infiltration des eaux pluviales*, Lyon, conférence Novatech : Graie, Eurydice, 1992.

Pipien G., Tesson M., Bar P., Christory J.-P., Petrongari J.-P., *Chaussées poreuses urbaines*, RGRA n° 677, 1990.

Pipien G., Christory J.-P., Combelles F., Raimbault G., *Routes à structures poreuses, Où en est-on ?* RGRA n° 694, 1992.

Raimbault G., *Éléments pour le dimensionnement des structures-réservoirs*, Stage ENPC, 25 au 27/05/1993.

Raimbault G., Nissoux J.-L., Moutier F., *Matériaux poreux et structures de chaussées*, Paris congrès Rilem, 1987.

Azzout Y., Barraud S., Cres N., Alfakih E., *Techniques alternatives en assainissement pluvial, Choix, conception, réalisation et entretien*, 1994.

Avec la participation de : Agences de l'eau, Certu, Graie, Insa Lyon, LCPC.

3 - Adresses utiles

AFNOR

11, rue Francis-Pressensé
93571 LA PLAINE-SAINT-DENIS Cedex
Tél. : 01 41 62 80 00 - Fax : 01 49 17 90 00

APP BTP

ZA Olivet
35530 SERVON-SUR-VILAINE
Tél. : 02 99 00 10 11 - Fax : 02 99 00 20 77

ATILH

7, place de La Défense
LA DÉFENSE 4
92974 PARIS-LA-DÉFENSE Cedex
Tél. : 01 55 23 01 30 - Fax : 01 49 67 10 46

CEMAGREF

BP 121
92185 ANTONY Cedex
Tél. : 01 40 96 61 21 - Fax : 01 40 96 60 36

CERIB

BP 59
28231 ÉPERNON Cedex
Tél. : 02 37 18 48 00 - Fax : 02 37 18 48 68

CERTU

9, rue Juliette-Récamier
69456 LYON Cedex 06
Tél. : 04 72 74 58 00 - Fax : 04 72 74 59 00

CIMBÉTON

7, place de La Défense
LA DÉFENSE 4
92974 - PARIS-LA-DÉFENSE Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00 - Fax : 01 55 23 01 10

FIB

23, rue de la Vanne
92126 MONTROUGE
Tél. : 01 49 65 09 09 - Fax : 01 49 65 08 61

LCPC

58, boulevard Lefebvre
75732 PARIS Cedex 15
Tél. : 01 40 43 50 00 - Fax : 01 40 43 54 98

LROP

12, rue Teisserenc-de-Bort
BP 108
78195 TRAPPES Cedex
Tél. : 01 34 82 12 34 - Fax : 01 30 50 83 69

SETRA

BP 100
92223 BAGNEUX Cedex
Tél. : 01 46 11 31 31 - Fax : 01 46 11 31 69

Crédit photographique

Romualda Holak, Cimbéton, CERIB, LCPC,
Communauté Urbaine de Strasbourg, X. Tous droits réservés.

Illustrations

David Lozach / Dominique Degrieck

Maquette

Nathalie Pecquet

Photogravure

Atelier André Michel

Mise en page et réalisation

Amprincipe Paris

R.C.S. Paris B 389 103 805

Impression

Imprimerie Chirat

Réédition juin 2007



CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10

E-mail : centrinfo@cimbeton.net • internet : www.infociments.fr